ՀԱՅ-ՌՈՒՍԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Լ Ր Ա Բ Ե Ր

ՀԱՅ-ՌՈՒՍԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՍԵՐԻԱ

ՖԻԶԻԿԱՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ
ԵՎ ԲՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

№ 2

ՀՌՀ Հրատարակչություն

Երևան 2018

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В Е С Т Н И К

РОССИЙСКО-АРМЯНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

СЕРИЯ:

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 2

Издательство РАУ

Ереван 2018

Печатается по решению Ученого совета РАУ

Вестник РАУ, № 2. – Ер.: Изд-во РАУ, 2018. – ********** с.

Журнал входит в перечень периодических изданий, зарегистрированных ВАК РА

Российско-Армянский университет, 2018 г.

ISBN 1829-0450

МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК: 519.23

COMPARATIVE STUDY OF THREE APPROACHES FOR ESTIMATING THE WEIBULL DISTRIBUTION PARAMETERS

D. Asatryan

Russian-Armenian University
Institute for Informatics and Automation Problems of NAS RA

ABSTRACT

The Weibull distribution is frequently used to statistical model for survival, reliability, wind speed, digital image features and other data. There exist about dozen popular methods for estimating the Weibull distribution parameters. Some of them are based on the method of moment estimation (MME) and its modifications. However, in spite of algorithmic simplicity of related procedures, there arises necessity of creating more fast-acting methods to avoid numerous calculations of Gamma function and sequential approximation process. In this paper, through data analysis and simulation studies, the following three methods of estimation are discussed and compared: a direct method of estimation by solving the nonlinear equation of MME, the method of estimating by the empirical formula representing the power function of

variation coefficient, and the method of polinomial approximation of the dependence of form parameter estimate on variation coefficient in various intervals of its value.

Keywords: Weibull distribution, parameters estimating, method of moments, polinomil approximation, approximation error.

Introduction

There are many applications for the Weibull distribution in statistics.

The probabilistic Weibull model was first introduced by Dr.Walodi Weibull [1] to represent the distribution of the breaking strength of materials and later to describe the behavior of systems or events that have some degree of variability. The statistical models based on the Weibull distribution have widespread applications in many science and technician fields. For example, the most popular distribution for failure data analysis of reliability in technical systems, in extremal problems, etc. is the Weibull distribution. Other application areas include estimation of wind power potential [3–4], pine diameter distribution [4] and various feature analysis in signal processing problems. As shows the literature analysis, the most popular problem in the considered context is the estimation of parameters of Weibull distribution and comparing of the precision of different estimation methods (see, for example, [5–7]).

Application of the Weibull distribution in image processing problems is of special interest. In spite of the fact that the digital image in the strict sense is not an object that can be interpreted in terms of the sampling theory, many problems of information processing are more effectively solved using the statistical analysis technique [8]. Thus, a number of problems based on the use of the gradient field of an image can be reduced to analyzing data using the Weibull distribution. For example, we can refer to [9–10], where they first use the Sobel operator to estimate the components of the gradient field and the corresponding magnitude of the gradient, and then we estimate the Weibull distribution parameters from them. In [11], a number of

applications of gradient analysis to applied problems are given, indicating the importance of applying effective algorithms for manipulating the Weibull distribution.

It should be noted that there is an essential feature of the problems of this type. If in ordinary applications of statistical analysis using the Weibull distribution we have to deal with small volumes of samples of not very large number, then in image processing problems we deal with inordinately large sample volumes and extremely large quantities. For example, we will point out the tasks of processing video materials obtained with the help of modern digital apparatus of high quality. Therefore, along with the desire to apply the most accurate methods of estimating parameters, the need to apply fast enough processing algorithms also comes to the fore. This problem is exacerbated in the case of creating applications for mobile systems and smartphones.

There exist about dozen popular methods for estimation of the Weibull distribution parameters. There are also detailed tables of values of the Weibull distribution [12], the use of which, however, is inconvenient for automatic calculations. We can refer to many papers with comparative analysis of different methods of parameters estimation. For example, in [4] three, in [6] seven methods are analyzed and compared. As it was pointed in the literature, the most convenient methods are based on the moment method (MM) and its modifications because of simplicity and interpretability of appropriate formulas and procedures.

In this paper we compare three methods of estimating the form parameter of the Weibull distribution: a direct estimation method by solving the nonlinear equation of the moment method, an estimation method based on the empirical formula, which is a power function of the variation coefficient, and a method for approximating the dependence of the form parameter estimate on variation coefficient in various intervals its changes.

Estimation of parameters by the method of moments

The density of the two-parameter Weibull distribution is given by

$$f(x;\lambda,\eta)=\frac{\eta}{\lambda}\left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\eta-1}\exp\left[-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\eta}\right],\ x\geq 0, \qquad (1)$$

where $\eta > 0$ – параметр формы, $\lambda > 0$ параметр масштаба.

As is known, the mathematical expectation and variance of the distribution (1) are equal

$$\mu=\lambda\Gamma(1+1/\eta),\qquad \sigma^2=\lambda^2\left[\Gamma(1+2/\eta)-\Gamma^2(1+1/\eta)\right]^2, \qquad (2)$$

therefore the square of the variation coefficient of the distribution takes the form

$$\frac{\sigma^2}{\mu^2}=\frac{\Gamma(1+2/\eta)}{\Gamma^2(1+1/\eta)}-1, \qquad (3)$$

where $\Gamma(\cdot)$ – Gamma function. For estimating the parameter η by moment method first, the sample mean $\hat{\mu}$ and variance $\hat{\sigma}^2$ are determined over the set of matrix M elements, then solved the nonlinear equation as follows

$$\frac{\Gamma(1+2/\hat{\eta})}{\Gamma^2(1+1/\hat{\eta})}=\frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\mu}^2}+1, \qquad (4)$$

by using the method of division of a segment in half. The scale parameter λ is estimated by formula

$$\hat{\lambda}=\frac{\hat{\mu}}{\Gamma(1+1/\hat{\eta})}. \qquad (5)$$

The accuracy of the solution of equations (4-5) depends on the error in numerical estimation of the Gamma function, which can reach 3.10^{-7} with eight polynomial approximation members [13] and depends, of course, on the number of iterations with successive approximation of the solution of equation (4). However, the convergence of the process is guaranteed by the monotonicity of dependence of left-hand side of (4) on the parameter $\hat{\mu}$.

Theorem. Let's denote

$$\Phi(\eta)=\frac{\Gamma(1+2/\eta)}{\Gamma^2(1+1/\eta)}. \qquad (6)$$

Then (6) decreases monotonically from η, i.e. $\frac{d\Phi(\eta)}{d\eta} < 0$ for all $\eta > 0$.

Proof. After the logarithm of (6), we can obtain

$$\frac{d \ln \Phi(\eta)}{d\eta} = -\frac{2}{\eta^2}\frac{d \ln \Gamma(1 + 2/\eta)}{d\eta} + \frac{2}{\eta^2}\frac{d \ln \Gamma(1 + 1/\eta)}{d\eta}. \quad (7)$$

Let's introduce the function $\psi(z) = \frac{d \ln \Gamma(z)}{dz}$ and use the well-known property of this function $\psi(z+1) = \psi(z) + 1/z$, where the function $\psi(z)$ is decreases monotonically [13]. Then note that the difference

$$\psi(1 + 1/\eta) - \psi(1 + 2/\eta) = \psi(1/\eta) + \eta - \psi(2/\eta) - \eta/2$$

increases monotonically, which, accordingly, leads to a monotonic decreasing of (6).

In Figure 1 a fragment of the plot of function $\Phi(\eta)$ is given.

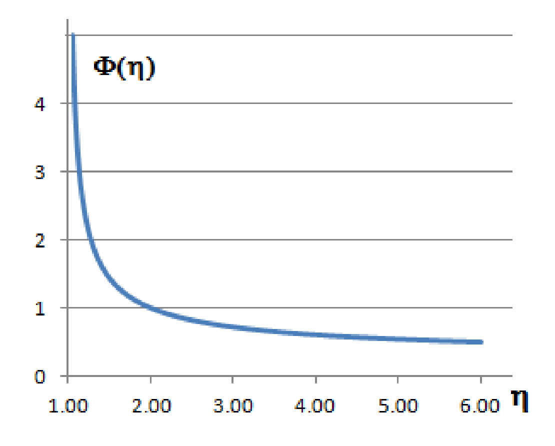


Figure 1. A fragment of the plot of the function $\Phi(\eta)$.

The proven property of monotonicity has one important «side effect» that allows us to accelerate the work of computer programs intended for ordering large arrays of images (or other objects) by the size of the Weibull

distribution parameter without direct evaluation of the latter. For this it is sufficient to compare only the values of the coefficient of variation given in (3). A similar problem was considered in [9], in connection with the necessity of ordering an array of images by the magnitude of the blur.

Note that the results of numerical calculations for the above procedures, we use as «reference» for comparison with other methods of estimating the parameters of the Weibull distribution.

Estimation by the empirical formula using the coefficient of variation

In [14], the following simple empirical formula is given for estimating the parameter of the Weibull distribution form in the form of a power function of the variation coefficient

$$\hat{\eta} = \left(\frac{\hat{\sigma}}{\hat{\mu}} \right)^{-1.086} . \qquad (8)$$

Calculations show that the accuracy provided by formula (8) is not very high on the average; therefore it can be used for relatively rough calculations. In this case, the accuracy of approximation by formula (8) is different for different intervals of variation of the form parameter η . For example, the relative accuracy of the formula is particularly low for values of $\eta \le 0.1$, and decreases, approaching 1% at $\eta = 0.1$. Further, by simple simulation of formula (8) and comparison with direct calculation results, it can be shown that the mean square error (MSE) in the interval has the values given in Table 1.

Table 1.

Mean square error of approximation of formula (8).

Range of definition of η	0.1 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	2.0 – 5.0
MSE of formula (8)	0.129	0.042	0.026	0.027

Thus, to estimate the form parameter of Weibull distribution within the limits of the accuracy indicated in Table 1, we can use formula (8).

The above arguments indicate the need to develop other simple approximating formulas for estimating the parameter η which, however, have an approximation accuracy that is significantly greater than the accuracy of the empirical formula considered.

Polynomial approximation

To solve this problem, an investigation was carried out by approximating the dependence (6) by orthogonal polynomials, using the well-known technique described, for example, in [15]. A preliminary study showed that the approximation of the curve $\Phi(\eta)$. over the entire domain of definition is not appropriate, since high accuracy can only be achieved if the degree of orthogonal polynomials is undesirably high. Therefore, the domain of definition of formula (6) was divided into a small number of subdomains that cover the most frequently encountered values when solving practical problems. The limits of the domain of definition are selected from 1.05 to 70, which correspond to the limits for the parameter η from 0.25 to 5.0.

Omitting the details, we note that as a result of the investigation we came to an estimate of the degree of approximating polynomials of no more than six with a number of subregions of order ten. In particular, even at the third power of the polynomial, the approximation error comes in comparison with the errors of direct calculations described above.

Let's denote $y = \Phi(\eta)$ and the corresponding polynomial in

$$\eta \approx a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3 .$$

As an example, we indicate that for the range of changes from 1.12 to 1.2, the MSE of approximation is about 0.000284. Further, in order to obtain a compromise solution that provides an acceptable error at the lowest possible degree of the polynomial, in this paper the results of the calculations are given only for the second power of the polynomial. The results of the calculations are given in Table 2.

From the data of Table 2 it is evident that the MSE of approximation is many times lower than for the empirical formula considered above, which makes it expedient to use the obtained polynomials in those cases in which a relatively higher approximation accuracy is required.

Table 2.

Approximating polynomials for various subdomains of y .

Subdomain of y	Polynomial coefficients			MSE
	a_0	$10 \times a_1$	$100 \times a_2$	
$1.05 \le y < 1.08$	**571.6503**	**-10266.23**	**46388.84**	**0.003060**
$1.08 \le y < 1.10$	**264.1810**	**-4548.133**	**19803.23**	**0.000276**
$1.10 \le y < 1.12$	**169.4751**	**-2824.354**	**11959.35**	**0.000137**
$1.12 \le y < 1.20$	**80.04923**	**-1237.130**	**4916.145**	**0.002553**
$1.20 \le y < 1.30$	**31.94635**	**-430.0139**	**1529.990**	**0.000940**
$1.30 \le y < 1.50$	**14.12441**	**-155.9025**	**475.6071**	**0.00157**
$1.50 \le y < 2.00$	**5.660985**	**-43.05258**	**98.93291**	**0.00272**
$2.00 \le y < 3.50$	**2.235032**	**-8.542361**	**11.59745**	**0.00388**
$3.50 \le y < 6.00$	**1.154010**	**-1.921401**	**1.393318**	**0.00099**
$6.00 \le y < 20.0$	**0.659901**	**-0.333486**	**0.087728**	**0.00362**
$20.0 \le y < 70.0$	**0.402863**	**-0.042730**	**0.003072**	**0.00151**

The use of approximating polynomials given in Table 2 is especially effective when processing large arrays of similar objects with values of the Weibull distribution parameter concentrated in a small number of subdomains of the coefficient of variation. As an example, we point to the well-known Brodatz texture database [16], for which the boundaries of the 95% confidence interval of the values are 1.39 and 1.50.

Conclusions

In this paper, we make a comparative analysis of the accuracy of three approximate methods for estimating the parameters of the Weibull distribution - a direct estimation method by solving the nonlinear equation of the moment method, the estimation method by the empirical formula representing the power function of the coefficient of variation and the method of approximation of the dependence of the form parameter estimate on the coefficient of variation in different intervals of its change. It is shown that the mean square error of approximation of the latter method by a polynomial of the second degree does not exceed 0.004. The research method allows, if necessary, to obtain more accurate approximation results, for which it is recommended to use polynomials of the third degree.

REFERENCES

1. *Weibull W.* Statistical Distribution of wide Applicability. Journal of Applied Mechanics, 18, 239–296, 1951.
2. *Genc A., Erisoglu M., Pekgor A., Oturanc G., Hepbasli A. and Ulgen K.* Estimation of wind power potential using Weibull distribution, Energy Sources 27, pp. 809–822, 2005.
3. *Justus C., Hargraves W., Mikhall Amir and Graber Denise.* Methods for Estimating Wind Speed Frequency Distributions. Journal of Applied Meteorology. V. 17, March, 350–353, 1978.
4. *Lei Y.* Evaluation of three methods for estimating the Weibull distribution parameters of Chinese pine (Pinus tabulaeformis). Journal of Forest Science, *54*, (12): 566–571, 2008.
5. *Teimouria Mahdi, Hoseinib Seyed M. and Nadarajahc Saralees.* Comparison of estimation methods for theWeibull distribution. Statistics, Vol. 47, No. 1, 93–109, 2013.
6. *Pobocikova Ivana, Sedliackova Zuzana, Šimon Ján*. Comparative Study of Seven Methods for Estimating the Weibull Distribution

Parameters for Wind Speed in Bratislava – Mlinska Dolina. Proceedings of 17th Conference on Applied Mathematics APLIMAT. PP. 840–852, 2018.

7. *Kurbana Mehmet, Dokura Emrah and Ceyhanb Salim*. A novel information geometry method for estimating parameters of the Weibull wind speed distribution. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 67, 1, 39–49, 2018.
8. *Yanulevskaya V. and Geusebroek J.* Significance of the weibull distribution and its sub-models in natural image statistics, in Proceedings of the Fourth International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)], 1, 355–362, INSTICC Press, 2009.
9. *Asatryan D.* Image blur estimation using gradient field analysis [In Russian]. Computer Optics, 41(6), 957–962, 2017.
10. *Timm Fabian and Barth Erhardt.* Non-parametrric texture defect detection using Weibull features. Image Processing: Machine Vision Applications IV, volume 7877. Proceedings of SPIE. SPIE-IS&T. San Francisco, USA, 2011.
11. *Asatryan D.* Gradient-Based Technique for Image Structural Analysis and Applications. Computer Optics, 42(4), 111-111, 2018.
12. *Plait Alan.* The Weibull Distribution – With Tables. Industrial Quality Control. 19:17–26, 1962.
13. Справочник по специальным функциям. Под ред. М. Абрамовича и И. Стигана. М. «Наука», 1979.
14. *Ramírez P., J. Carta A.* Influence of the data sampling interval in the estimation of parameters of the Weibull wind speed probability density distribution a case study, Energy Conversion and Management, 46, 2419–2438, 2005.
15. *Худсон Д.* Статистика для физиков. М. «Мир», 1970.
16. http://www.ux.uis.no/~tranden/brodatz.html

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНИВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА

Д. Асатрян

АННОТАЦИЯ

Распределение Вейбулла часто используется при моделировании выживания, надежности, скорости ветра, свойств цифровых изображений и других данных. Существуют множество распространенных методов оценивания параметров распределения Вейбулла. Некоторые из них основаны на оценивание методом моментов (ОММ) и его модификациями. Однако, несмотря на алгоритмическую простоту применяемых процедур, возникла необходимость создания более быстродействующих методов, позволяющих избежать объемных вычислений, связанных с оценкой Гамма фунции и с процедурой последовательных приближений. В настоящей статье на основе анализа данных и моделирования изучаются и сравниваются следующие три метода оценивания: прямой метод оценивания путем решения нелинейных уравнений ОММ, метод оценивания при помощи эмпирической формулы, представляющей собой степенную функцию от коэффициента вариации и метод полиномиальной аппрксимации зависимости оценки параметра формы от коэффициента вариации в различных интервалах его значений.

Ключевые слова: распределение Вейбулла, оценивание параметров, метод моментов, полиномиальная аппроксимация, ошибка аппроксимации.

ՎԵՅԲՈՒԼԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԵՐԵՔ ՄՈՏԵՑՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ

Դ. Ասատրյան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Վեյբուլի բաշխումը հաճախ օգտագործվում է որպես survival, հուսալիության, քամու արագության, թվայնացված պատկերների հատկությունների և այլ տվյալների վիճակագրական մոդել: Առաջարկվել են և լայնորեն

կիրառվում են Վեյբուլի բաշխման պարամետրերի գնահատման մի շարք մեթոդներ: Դրանց մի մասը հենված է պարամետրերի գնահատման՝ մոմենտների մեթոդի (ՄՄԳ) և դրա ձևափոխումների վրա: Սակայն, չնայած համապատասխան ընթացակարգերի ալգորիթմական պարզությանը, անհրաժեշտություն է առաջացել ավելի արագագործ մեթոդներ ստեղծելու, որպեսզի խուսափեն Գամմա ֆունկցիայի և հաջորդական մոտեցումների եղանակի իրագործման համար կատարվող ծավալուն հաշվարկներից: Սույն հոդվածում տվյալների վերլուծության և մոդելավորման միջոցով հետազոտվել են պարամետրերի գնահատման հետևյալ երեք մեթոդները. ՄՄԳ ոչ գծային հավասարումների լուծման միջոցով գնահատման ուղիղ մեթոդը, փոփոխականության գործակցից աստիճանական ֆունկցիայի տեսքով էմպիրիկ բանաձևի օգնությամբ գնահատման մեթոդը և ձևի պարամետրի՝ փոփոխականության գործակցից կախվածության բազմանդամային մոտարկման մեթոդը գործակցի արժեքների տարբեր միջակայքերի համար:

Հիմնաբառեր՝ Վեյբուլի բաշխում, պարամետրերի գնահատում, մոմենտների մեթոդ, բազմանդամային մոտարկում, մոտարկման սխալանք:

УДК 004.04

ON AN APPROACH FOR SUPPORTING QUERIES BUILT IN NATURAL LANGUAGE

N. Hovsepyan

Information Technologies Educational and Research Center, Yerevan State University

narek.hnh@gmail.com

ABSTRACT

Generating queries for databases from natural language is a known problem. With the increasing amount of data in the world it is important to give people who do not have the knowledge of SQL or other query languages access to these data. To solve the problem of generating SQL queries from natural language, we consider two level neural networks. The first level for generation of the main components (aggregation function, column name, conditions) and the second onefor formulation of the final query from the main components. In this paper, we used bidirectional recurrent neural network with fully connected layers and achieved higher accuracy than all known results.

Keywords: SQL, natural language, machine learning, neural networks, deep learning

1. Introduction

Nowadays, almost every business data is stored in databases, which requires knowledge of query language in order to access such data.

Generation of SQL queries from natural language will significantly ease the problem of accessing data. Considered work is aimed to suggest a solution to the problem, hence making the data-processing workflow simpler.

One of the successful works using WikiSQL dataset [9] for training and testing has been published in 2017 [8]. The result was 59.4% accuracy on test set, exceeding the previous best result (35.9%) by over 20%. Another work [1] has been published by Microsoft Research group in November 2017 with 66.8% accuracy using deep sequence to sequence model with some attention mechanisms and extensions. Also, good result was achieved in November 2017 [10] with 68% accuracy, which was the state of the art method before our results. All previous works [2] use machine learning models with some extensions and modifications.

2. Dataset

In this paper we have used the WikiSQL dataset which has been manually collected from Wikipedia database tables. It contains more than 80 thousand examples of natural language questions and the corresponding SQL queries distributed across 26 thousand tables. The dataset is splitted into two groups, one for training 80% and the other for testing 20%.

The WikiSQL data collection queries are applied for a single table. The structure of the query is the following:

select aggregation | name
from table
where predicates.

There are also other data collections (e.g. SENLIDB), but unlike WikiSQL, they are small and have only one table.

3. Model description

In this paper, we have implemented relatively simpler models and have achieved higher accuracy, compared to previous works.

We use two level neural networks. The first level networks are used to predict the aggregation, column name and conditions from the natural language query. The second levelis based on the results of the first level and constructs the final SQL query.

The division of the problem into two levels is justified, because each of them can be processed and solved independently of the other. Therefore, this division gave us the opportunity to train relatively simple models and by combining the results achieve high accuracy.

Since the query structure in the WikiSQL dataset is fixed and applied for a single table, machine learning models which should generate these queries using the main components will quickly overfit. Therefore, weconstructed a program for generating SQL queries, which will replace second level network.

For future work, we plan to find more datasets that cover a wider range of complex queries specifically with use of multiple tables, and train generalized neural networks to solve the second level problem too.

3.1. Aggregation prediction

First subtask of first level is aggregation function prediction. We assume aggregation function can be predicted from the natural language question only. The model which we use for this subtask shown in Figure 1.

We use bidirectional RNN on top of the question tokens, after the final state output of the RNN there is fully connected layer and output with six neurons. We interpret this as six class classification problem, where classes are {NONE, SUM,AVG,MAX,MIN,COUNT} (NONE if no aggregation needed). Loss function is categorical cross-entropy (CCE), where q is probability distribution, p is «true» distribution:

$$CCE(p, q) = -\sum p_i \log q_i$$

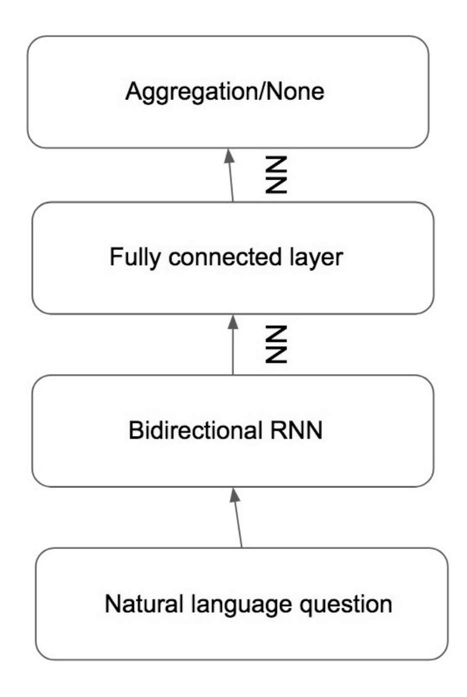


Figure 1. Model for aggregation prediction.

3.2. Column prediction

Unlike the previous subtask, prediction of column names depends not only on the question but also on the table scheme. Fig 2 shows the structure of this network.

We use two bidirectional RNNs, first takes as input question tokens and second one the column names. We then join their output states and pass them as input to yet another BRNN that predicts the column name.

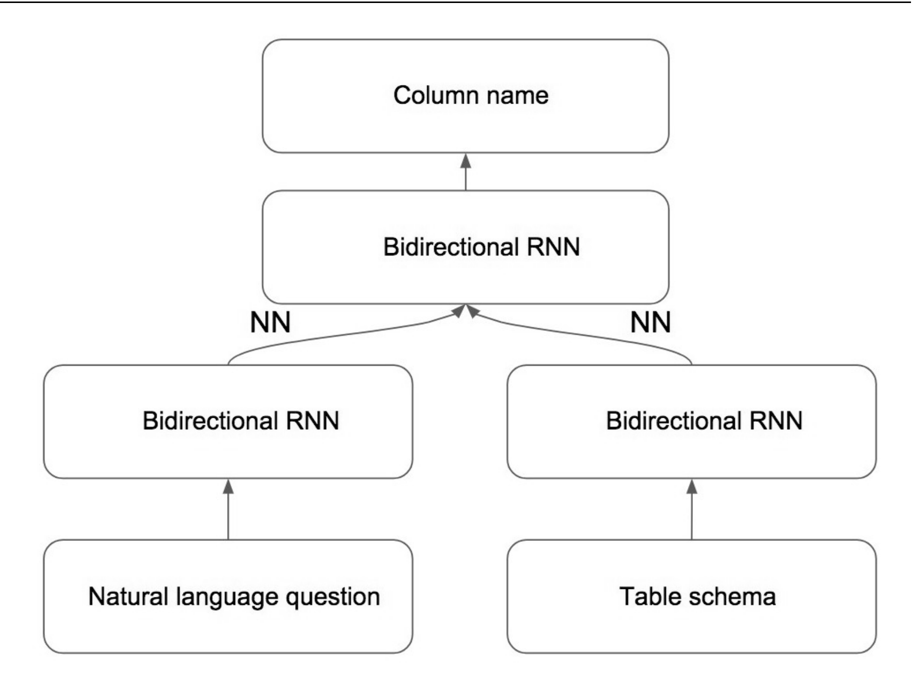


Figure 2. Model for column prediction.

3.3. Conditions prediction

For the conditions prediction subtask, we use the same model as in previous task. Unlike previous subtask which needs to predict only one column name in the output, this one should predict one or more simple conditions joined with logical operations. Example of dataset element:

table schema: *{«Round», «Grand Prix», «Pole Position», «Fastest Lap», «Winning Driver», «Winning Constructor», «Report»}*

question: «*How many Grand Prix were the winning constructor Benetton - Ford and the pole position was Michael Schumacher?*»

For this natural language question, we need to have two simple conditions, first «Winning Constructor» need to be equal to «Benetton – Ford» and second «Pole Position» need to be equal to «Michael Schumacher» joined with logical and operation.

3.4. Query generation

Previous models are solving the first level subtasks of predicting main components of the query. Now it remains to create the final SQL query string using these results. As mentioned above, WikiSQL has fixed structure of SQL queries which allows us to build a program for generating final queries.

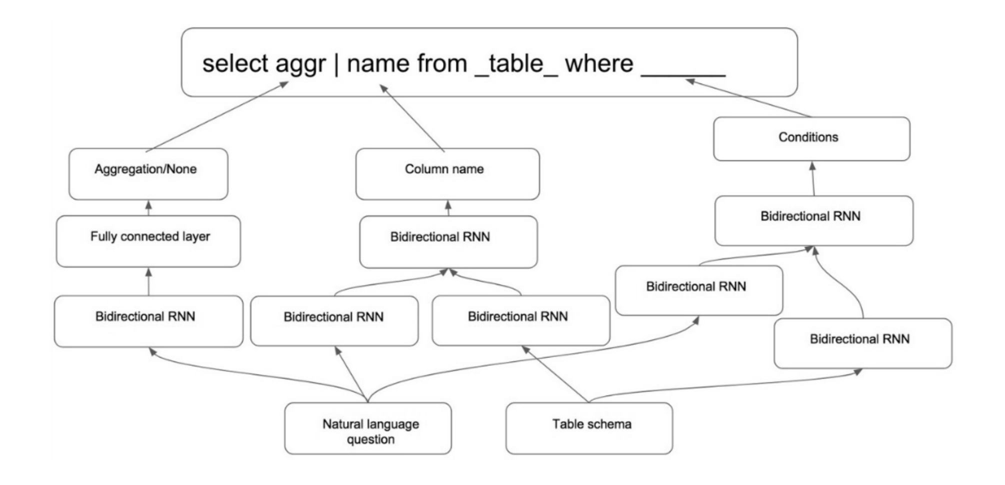


Figure 3. Two level neural networks.

4. Experiments

We use tensorflow [5] python library for our experiments. Also, we have used GloVe pre-trained word vectors [3] to get real vector for each word of natural language question and used only this vector representation. All bidirectional RNNs have 128 hidden units. We used the ADAM optimizer for training our neural networks.

As shown in Table 1, we achieve 87.6% accuracy in aggregation prediction subtask, 89.8% in column prediction. Condition prediction task is more complex compared to previous ones, because in this problem part

of the queries have multiple conditions. On test set for this subtask we reach 72.3% accuracy.

Table 1.

First level network's results.

Subtask name	**Accuracy on test set**
Aggregation prediction	87.6%
Column prediction	89.8%
Conditions prediction	68.7%

The whole two level neural networks solution reaches 68.7% accuracy on test set, which exceeds all the known results before this work and is a new state of the art result.

5. Conclusion

In this paper we described a new approach which allowed us to get new state of the art result with use of simple machine learning models. Division of the problem resulted in easier subproblems and our two-level approach solves the problem better. Two level neural networks approach makes easier to generate final query with use of already solved subtasks of the first level. Next steps for this work is to use various complex and suggested models from previous works for the subtasks and levels of this model, keeping our approach which can lead to even better results. Also, we can extend WikiSQL and add SQL queries which have more complex structures to train and generalize the second part of the problem.

REFERENCES

1. *Chenglong Wang, Marc Brockschmidt and Rishabh Singh.* POINTING OUT SQL QUERIES FROM TEXT. 2017 https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2017/11/nl2prog.pdf
2. *Androutsopoulos, G.D. Ritchie and P.Thanisch.* Natural language interfaces to databases an introduction. 1995.
3. *Jeffrey Pennington, Richard Socher and Christopher D. Manning.* Glove: Global vectors for word representation. In EMNLP, 2014.
4. *Dong Li, Lapata Mirella.* Coarse-to-Fine Decoding for Neural Semantic Parsing. CoRR, abs/1805.04793, 2018. https://arxiv.org/abs/1805.04793
5. https://arxiv.org/abs/1803.02400
6. *M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G.S. Corrado, A. Davis, J. Dean,. Devin, S. Ghemawat, I. Goodfellow, A. Harp, G. Irving, M. Isard, Y. Jia, R. Jozefowicz, L. Kaiser, M. Kudlur, J. Levenberg, D. Mane, R. Monga, S. Moore, D. Murray, C. Olah, M. Schuster, J. Shlens, B. Steiner, I. Sutskever, K. Talwar, P. Tucker, V. Vanhoucke, V. Vasudevan, F. Viegas, 0. Vinyals, P. Warden, M. Wattenberg, M. Wicke, Y. Yu, and X. Zheng. Tensor Flow*: Large-scale machine learning on heterogeneous systems, 2015. URL https://www.tensorflow.org/. Software available from tensorflow.org.
7. *Po-Sen Huang, Chenglong Wang, Rishabh Singh, Wen-tau Yih, Xiaodong He.* Natural Language to Structured Query Generation via Meta-Learning. CoRR, abs/1803.02400, 2018. https://arxiv.org/abs/1803.02400.
8. *Tao Yu, Zifan Li, Zilin Zhang, Rui Zhang, DragomirRadev.* TypeSQL: Knowledge-based Type-Aware Neural Text-to-SQL Generation. CoRR, abs/1804.09769, 2018. https://arxiv.org/abs/1804.09769

9. *Victor Zhong, Caiming Xiong and Richard Socher.* Seq2sql: Generating structured queries from natural language using reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1709.00103, 2017
10. WikiSQL dataset, https://github.com/salesforce/WikiSQL.
11. *X. Xu, C. Liu and D. Song. Sqlnet:* Generating structured queries from natural language without reinforcement learning. CoRR, abs/1711.04436, 2017. URL http://arxiv.org/abs/1711.04436.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПОДДЕРЖКЕ ЗАПРОСОВ, ПОСТРОЕННЫХ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Н. Овсепян

АННОТАЦИЯ

Генерация запросов для базы данных с помощью естественных языков является известной проблемой. Учитывая рост объема данных, важно предоставить возможность доступа к этим данным тем людям, которые не имеют знания SQL или других языков запросов. Для решения проблем генерации SQL запросов из естественного языка, мы рассматриваем двухуровневые нейронные сети. Первый уровень выполняет генерацию основных компонентов (функции агрегации, имена столбцов, условия и т.д.). Функцией второго уровня является составление заключительного запроса, используя сгенерированные основные компоненты. В данной работе мы использовали двухсторонние рекуррентные нейронные сети с полностью соединенными слоями и достигли более высокой точности по сравнению с известными результатами.

ԲՆԱԿԱՆ ԼԵԶՎՈՎ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾ ՀԱՐՑՈՒՄՆԵՐԻ ԱՋԱԿՑՄԱՆ ՄԻ ՄՈՏԵՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ն. Հովսեփյան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Տվյալների բազաների համար բնական լեզվից հարցումների գեներացիան բավականին հայտնի խնդիր է: Տվյալների աճին զուգընթաց շատ կարևոր է ապահովել այդպիսի տվյալների հասանելիությունը այն մարդկանց համար, ովքեր չեն տիրապետում SQL կամ այլ հարցումների լեզուների: Բնական լեզվից հարցումներ գեներացնելու խնդիրը լուծելու համար մենք դիտարկում ենք նեյրոնային ցանցեր՝ բաղկացած երկու մակարդակից: Առաջին մակարդակը նախատեսված է հիմնական մասերի գեներացիայի համար (ագրեգատային ֆունկցիաներ, սյունակի անուն, պայմաններ), իսկ երկրորդ մակարդակը՝ հիմնական մասերը օգտագործելով վերջնական հարցումը կառուցելու համար: Այս հոդվածում մենք օգտագործել ենք երկկողմանի ռեկուրենտ նեյրոնային ցանցեր, լրիվ կապակցված շերտերով և հասել ավելի բարձր ճշգրտության, քան մինչև այս հայտնի արդյունքներում:

UDC 621.311

INCREASING THE SPEED OF DETECTING OBJECTS IN THE VIDEO BY THE OPTIMIZATION OF THE PROCESS

D. Simonyan

RA NAS IIAP

davit.education@gmail.com

ABSTRACT

To solve the task of ensuring the safety of the area in the sphere of surveillance, the quick detection of the objects is of utmost importance. The methods applied at present ensure certain speed, but our goal is to develop a more quick-operating method, at the same time, ensuring the satisfactory quality of detection by which it will be possible to accurately determine the type of the objects.

Keywords: image processing, object detection and recognition, background subtraction, performance, optimization, image pyramid, Open CV.

Introduction. Nowadays, object detection and recognition in the video is widely used in many spheres. The existing methods of detection and recognition can be divided into two main groups: methods based on "frame difference" and methods of background subtraction in the image which works by applying the calculation of the absolute shift difference

between the frames, using the XOR bit comparison between the images. In the background subtraction method, as a result of subtracting the background from the current image, we will obtain the complete view of the objects,existing on the image which is difficult to implement by the method based on the frame difference. Thus, in the process of the object detection and recognition, the background subtraction is preferable. But as a consequence of using the latter, a number of problems arise, thus for instance, the presence of false targets in the image, as well as a difference of the light intensity between the background and current frames, depending on the climatic changes. The solution of the problems have been obtained by the method [1] (which is a modification of a background subtraction method in the image), and by that proposed in [2].

A task has been set to obtain a more quick-operating version of the method of the background subtraction in the image, at the same time ensuring the accuracy of determining the type of the object. For increasing the speed of the object detection (and, at the same time, maintaining the quality), a modification of the background subtraction method has been performed.

The following three stages of the task have been implemented:

1. ***Construction of the image pyramid***. The sphere of image analysis includes the theory of the image pyramid, which is very frequently used to reduce the noise in the image [3]. In this stage, the image pyramid has been constructed based on the following principle:

The base of the pyramid is the original frame taken from the video, which is subjected to the $\propto -\text{operation},$ after which,the image is reduced several times by the coefficient $s_l(\text{Fig. }1).$ This allows to significantly reduce the noise in the image and by means of frame subtraction, compare the small images while comparing the whole images, which, in its turn, will favour the speed of the algorithm.

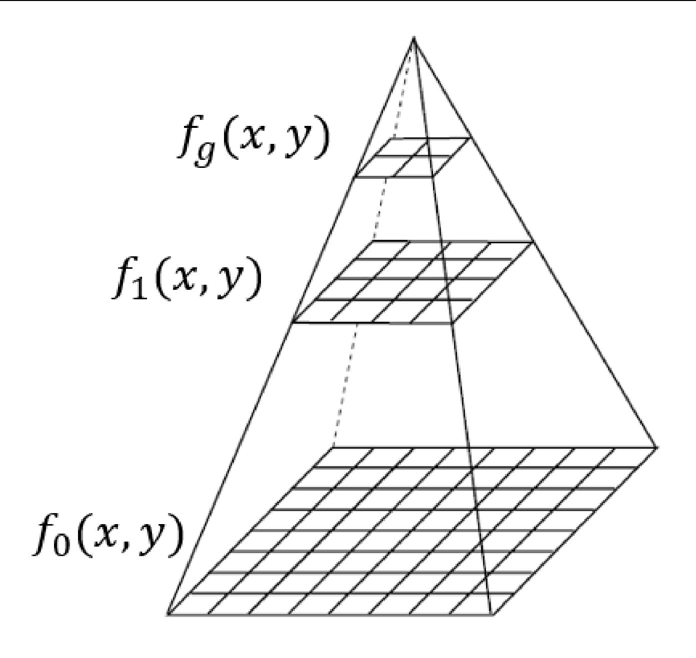


Figure 1. The image pyramid.

The base of the pyramid obtained as a result of matrix modification of the current image of the video is the matrix $f_0(x,y)$:

$$f_0(x,y) = \frac{1}{s_l}[\propto f(x,y)],\ s_l = 2^g\ , \quad (1)$$

while the view $\mathrm{f}_i(\mathrm{x},\mathrm{y})$ of the matrix obtained as a result of the image reduction, i.e. the passage from one layer of the pyramid onto the other is calculated by the following formula:

$$f_i(x,y) = \frac{1}{s_l} f(x,y), i = \overline{1,g} \quad (2)$$

where $f(x,y)$ is the matrix of the current image of the video; $f_0(x,y)$ – the zero layer of the pyramid; $\propto$- the coefficient of actions applied on the image

(grayscale, blur); g – the number of the pyramid layers; s_l – the reduction coefficient of the image dimensions.

As a result of constructing the pyramid, we will obtain the small analogue of the original frame and name it $f_g(x, y)$.

2. ***Grid construction in the last layer of the pyramid***. At video surveillance, the small objects in the image are of no interest. The user has an opportunity to define the possible minimal size of the object. The object smaller than the size $\frac{N}{r} \times \frac{M}{r}$ defined in the background will be neglected by the system. After defining the size, the grid is constructed according to the minimal size of the mentioned object in the following way.

As there is conformity between the obtained $f_g(x, y)$ and the $f_0(x, y)$ original images, we can distribute the pixels of the $f_g(x, y)$ image sparsely on the original frame and obtain a grid (Fig. 2.). Thus, each point of the grid is a pixel of the image $f_g(x, y)$.

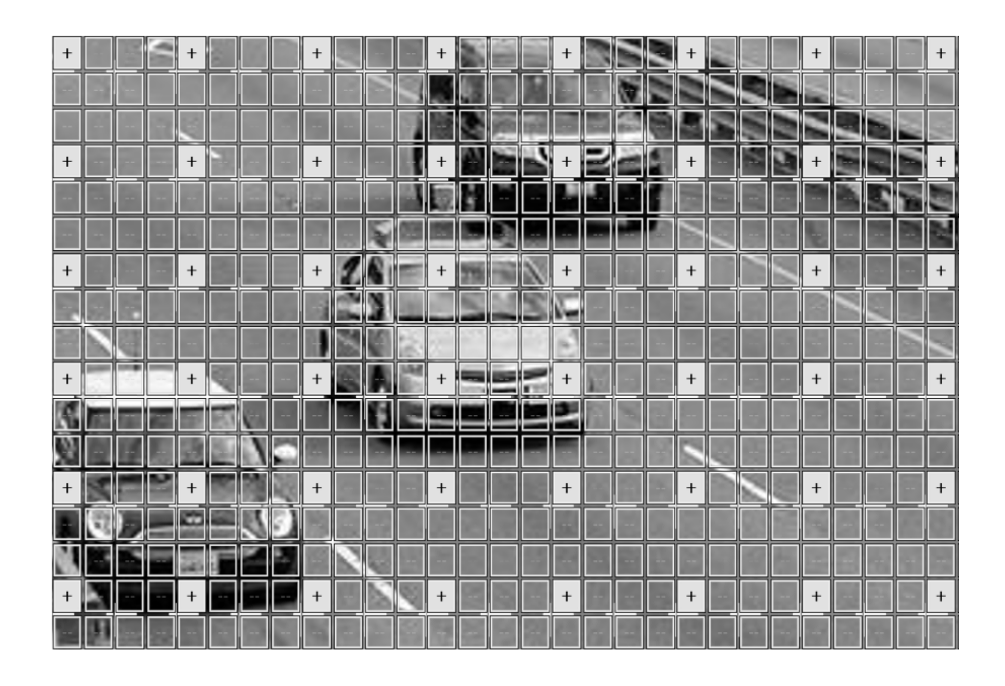


Figure 2. Construction of the grid in the image.

3. ***Detection of the objects (description of the XOR bit comparison algorithm)***. Mentioned XOR bit comparison algorithm is the following:

Each point of the grid is consideredsuccessively. If the colour value {R,G,B} of the grid point differs from the background, the 3x3-size matrix is placed on the corresponding pixel of the grid point in the original frame. From the colour difference, it is assumed that the given point is the object pixel. Then, 8 neighbouring points are analysed in the original frame, which are also compared with the background image. That is, the algorithm passes through each point of the sparse grid until it comes across a colour difference where the object is.

In Fig. 3, each square is one pixel in the original frame, while the object is expressed by white squares. Passing through the grid points, the algorithm reaches the object pixel. Thus for instance, let us consider the centre of the square marked in red in Fig. 3. After that we pass onto checking the neighbouring pixels of the corresponding point in the original frame. In particular, seeing that points A, B, C, G and H are not points of the object, we mark them in black in the output image, while D, E, F – in white. Then we place the matrix on D and check the neighbouring pixels that have not yet been checked. Then we move in the direction of D_1, then D_2 and so on up to D_n (Fig. 3a). In this way, we complete all the pixels of the object, obtaining its full view (in the output image). In Fig. 3b, the case of the interrupted sequence is introduced when the algorithm for detecting the object pixels, moving in the direction of D, does not complete the process with a single iteration and, in that case, the second iteration starts and continues to move in the direction of E, ending the process in the point E_n.

After expandingwithin the original frame and detecting all the pixels of the object, we will return to the grid and continue the object search.

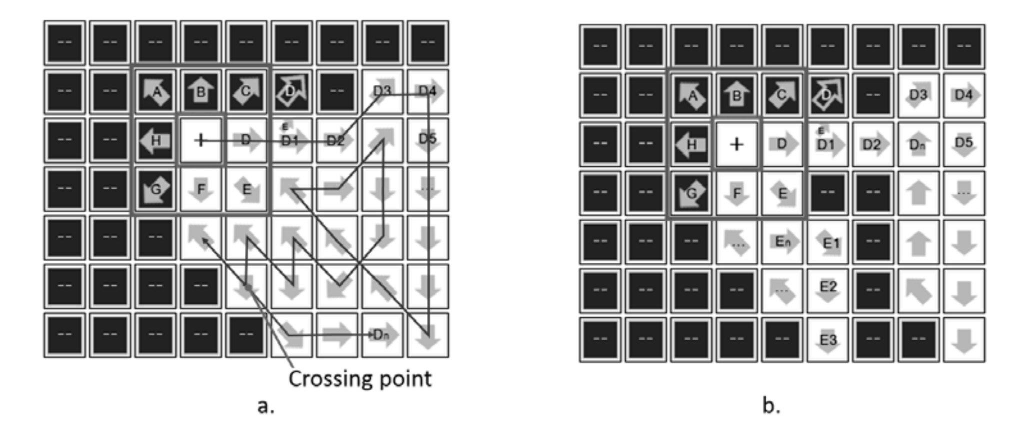


Figure 3. The iteration method developed for the object detection:
a) the cross-road case; b) the case of the interrupted road.

The speed of the method is directly proportional to the general pixel checkings C_2.

$$C_2 = \frac{1}{2^g}\left(\frac{NM}{r^2} + nm\sum_{i=1}^{z} h\right),\ i = \overline{1, z}\,, \quad h = \overline{1{,}8} \tag{3}$$

where z is the number of the objects present in the background; h – the number of A-H checkings for each pixel in the developed method; NxM – the image dimensions; n x m – the sample dimensions, and C_2 – the complexity of the algorithm, representing the general number of pixel comparisons between the standard and modified images.

Widely in use object motion detectionalgorithm (frame difference openCV) [4] complexity is $C_1 = NM + z \cdot nm$, where z – the object count in the background, N x M – the image dimensions and n x m – the sample dimensions. From the formula, it can be seen that C_2 is considerably smaller than the C_1 complexity of the algorithm for the detection of the object movement in video. Therefore, the iteration method developed for detecting

the object is speedy in comparison with the previous methods, which is also proved by experiments.

The results of the experiments. Numerous experiments have been made for the developed method (for about 5000 frames of 7 different video materials). As a comparison method, the method of frame difference Open CV for the object movement detection in the video widely used in the given sphere has been selected.

Tables 1 and 2 introduce the speed of the proposed algorithm expressed in seconds. The averaged value of the experiments with 5000 frames is given.

Table 1.

The experiment results: the speed of detecting and recognizing one object (in case of a video with 480x360 pixel points)

Algorithm	Algorithm complexity	Recognition Avarage Time
Frame difference MOG/GMG*	$C_1 = NM + z \cdot n_1 m_1$	0.069 sec
Suggested algorithm	$C_2 = \frac{1}{2^g}\left(\frac{NM}{r^2} + nm\sum_{i=1}^{z} h\right)$, $i = \overline{1,z}$, $h = \overline{1,8}$	**0.043 sec**

By the developed high-speed method, it also becomes possible to detect the unknown and hidden objects, as it, like method [1], is based on the method of background subtraction of images.

By using the algorithm described in [2], the above-mentioned quick method can also be applied in the images, containing false objects.

[1]Page 451 https://books.google.am/books?id=LPm3DQAAQBAJ&printsec=frontcover

Table 2.

The experiment results: the speed of the object detection in case of varying pixel points

Algorithm	640 × 480	1280 × 720	1920 × 1080	3840 × 2160	3840 × 2160 **In case of 5 objects**
Frame difference MOG/GMG	0.14 sec	0.17 sec	0.155 sec	0.27 sec	1.38 sec
Suggested algorithm	**0.08 sec**	**0.11 sec**	**0.096 sec**	**0.17 sec**	0.86 sec

Conclusion

1. A speedy version of the object detection in the video has been developed due to the modification of the background subtraction method. It detects the objects hidden in the background (which are not visible with naked eye) with satisfactory accuracy. At that, the object may be both stationary and in motion.

2. The developed method detects the objects in the image, taking into account the possible change of light and climate in the course of the video surveillance. The types of the detected objects in the image are not limited by this method.

3. Experiments have been carried out which have confirmed the quick operation of the algorithm as compared with the other existing algorithms.

4. Together with the increase in the detection speed, the accuracy of determining the object type has been maintained.

5. The object detection and recognition by the developed method is also applicable for the images, containing false targets.

REFERENCES

1. *Simonyan R.* Hidden and Unknown Object Detection in Video, In International Journal of New Technology and Research (IJNTR) Volume 2, Issue 11. PP. 22–25, November 2016.
2. *Simonyan R., Simonyan D.* Detection and ignorance method of false targets during object detection. In Computer Science and Information Technologies (CSIT) Conference 2017. PP. 372–375.
3. *Dollár P., Appel R., Belongie S., Perona P.* Fast Feature Pyramids for Object Detection. In IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 36, Issue 8. PP. 1532–1545, 2014.
4. *Kahler A. and Bradski G.* Book title. "Learning OpenCV 3: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library". PP. 451–491.
5. Simonyan R. Object Recognition Using Template Based Matching Method. In Transactions of IIAP of NAS of RA, Mathematical Problems of Computer Science, Volume 49, 2018.
6. *Simonyan R.* Object Distance Detection from Surveillance Cameras. International Journal of Science and Engineering Investigations, Volume 7, Issue 74. PP. 104–106, March 2018.
7. *Simonyan R*. Recognized Objects Visualization on Maps. International Journal of Science and Engineering Investigations, Volume 7, Issue 75. PP. 104–108, April 2018.
8. *Cinbis R., Sclaroff S.* Contextual Object Detection using Set-based Classification. 2012, PP. 15–64.
9. *Swaroop P., Sharma N.* An Overview of Various Template Matching ethodologies in Image Processing. In International Journal of Computer Applications (0975–887), Volume 153. No 10. PP. 8–14, November 2016.

ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ВИДЕОПОТОКЕ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА

Д.А. Симонян

АННОТАЦИЯ

В сфере видеонаблюдения для реализации проблем сохранения безопасности территории особенно важно быстрое обнаружение объектов. Применяемые ныне методы обеспечивают определенное быстродействие, однако нашей целью является разработка более быстродействующего метода для обеспечивания удовлетворительного качества обнаружения, что позволит более корректно определить типы объектов.

Ключевые слова: обработка изображения, обнаружение и распознавание объектов, метод фоновой фильтрации, оптимизация, пирамида изображений, Open CV.

ՏԵՍԱՇԱՐՈՒՄ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՈՒՄԸ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Դ.Ա. Սիմոնյան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Տեսահսկման ոլորտում տարածքի անվտանգության պահպանման խնդիրը իրագործելու համար առավել կարևոր է օբյեկտների արագ հայտնաբերումը: Ներկայումս կիրառություն գտած մեթոդները ապահովում են որոշակի արագագործություն, սակայն մեր նպատակն է մշակել առավել արագագործ մեթոդ, միաժամանակ ապահովելով հայտնաբերման բավարար որակ, որով հնարավոր կլինի ճշգրտորեն որոշել օբյեկտների տեսակը:

Հիմնաբառեր՝ պատկերների մշակումը, օբյեկտների հայտնաբերում և ճանաչում, ֆոնային զատման մեթոդ, արագագործություն, օպտիմալացում, պատկերների բուրգ:

УДК 517.968.4

О РАЗРЕШИМОСТИ ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ ПСЕВДОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НА ВСЕЙ ПРЯМОЙ

Х.А. Хачатрян,[1] Э.А. Андреасян[2]

[1]Институт математики НАН Армении
[2]Ереванский государственный университет

АННОТАЦИЯ

Данная научная статья посвящена вопросам разрешимости в пространстве Соболева $W_\infty^2(\mathbb{R}^+)$ одного класса псевдодифференциальных уравнений. При определенных условиях на нелинейную часть доказано, что рассматриваемое уравнение имеет нечетное решение $\varphi \in W_\infty^2(\mathbb{R}^+)$ с определенным поведением на бесконечности и удовлетворяющим условию $\varphi(0) = 0$.

Ключевые слова: нетривиальное нечетное решение, пространство Соболева, монотонность, итерации, асимптотика решения.

1. Введение

Пусть $Q(u)$ − определенная на $\mathbb{R}$ нечетная и непрерывная функция, удовлетворяющая следующим условиям:
(a_1) $Q(\eta) = \eta$, причем число $\eta > 0$ является первым положительным корнем уравнения $Q(u) = u$,
(a_2) существуют числа $\alpha > 1$ и $\xi \in (0, \eta)$ такие, что

$$Q(u) \geq \alpha u, \quad u \in (0, \xi),$$

(a_3) функция $Q(u)$ возрастает на отрезке $[0,\eta]$.

Рассмотрим следующую граничную задачу:

$$\begin{cases} -\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} + \lambda\varphi(x) = Q\big((U_a\varphi)(x)\big), \quad x \in \mathbb{R}, & (1) \\ \varphi(0) = 0, \quad \varphi(\pm\infty) := \lim_{x\to\pm\infty} \varphi(x) = \pm\frac{\eta}{\lambda} (2) \end{cases}$$

относительно искомой вещественной функции $\varphi(x)$, где U_a – продолжение на

$$W_\infty^2(\mathbb{R}) := \{\, f(x) : \ f^{(j)} \in \ L_\infty(\mathbb{R}),\ j = 0,1,2,\ \ x \in \ \mathbb{R}\}$$

оператора, порожденного дифференциальной формой$e^{\frac{ad^2}{dx^2}}$.

Задача $(1) - (2)$ эквивалентна следующей граничной задачи для интегро-дифференциального уравнения вида:

$$\begin{cases} -\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} + \mu^2\varphi(x) = Q\left(\int\limits_{-\infty}^{\infty} K_a(x-t)\varphi(t)\,dt\right), \quad x \in \mathbb{R}\,, & (3) \\ \varphi(0) = 0,\ \ \varphi(\pm\infty) = \lim_{x\to\pm\infty} \varphi(x) = \pm\frac{\eta}{\lambda}, \quad \varphi \in W_\infty^2(\mathbb{R}), & (4) \end{cases}$$

где

$$\mu = \sqrt{\lambda}, \qquad K_a(x) = \frac{\lambda}{\sqrt{4a\pi}} e^{-\frac{x^2}{4a}},\ \ x \in \mathbb{R}. \qquad (5)$$

Задача возникает в $p -$ адической теории струны (см. $[1] - [3]$). Соответствующее интегральное уравнение без производной второго порядка при определенных Q изучено в работах [1] и [3].

Соответствующая граничная задача на полуоси при более сильных ограничениях на нелинейность исследована в работах $[4] -$ [7].

Исходя именно из физических соображений, будем искать нечетные решения для граничной задачи $(3) - (4)$ (см. $[1] - [3]$).

Прямой проверкой можно убедиться, что если функция $f(x)$ является решением следующей граничной задачи на полуоси:

$$\begin{cases} -\frac{d^2 f(x)}{dx^2} + \mu^2 f(x) \ = Q\left(\int\limits_0^\infty \big(K_a(x-t) - K_a(x+t)\big) f(t)dt\right), x \in \mathbb{R}^+, & (6) \\ f(0) = 0,\ f(+\infty) = \frac{\eta}{\lambda},\ f \in W_\infty^2(\mathbb{R}^+), & (7) \end{cases}$$

то нечетное продолжение функции $f(x)$на $\mathbb{R}^- \equiv (-\infty, 0)$:

$$\varphi(x) = \begin{cases} f(x), & \text{если} \quad x \geq 0\,, \\ -f(-x), & \text{если} \quad x < 0 \end{cases}$$

будет решением граничной задачи $(3) - (4)$ и, следовательно, первоначальной задачи $(1) - (2)$.

2. Сведение задачи $(6) - (7)$ к интегральному уравнению. Априорные оценки

Нетрудно проверить, что в $W_\infty^2(\mathbb{R}^+)$ задача $(6) - (7)$ эквивалентна следующей задаче:

$$\frac{df(x)}{dx} + \mu f(x) =$$

$$= \int\limits_x^\infty e^{-\mu(t-x)} Q\left(\int\limits_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) f(\tau)d\tau\right) dt, \quad x \in \mathbb{R}^+, \quad (8)$$

с граничными условиями (7). Обозначим через

$$F(x) = \frac{df(x)}{dx} + \mu f(x), \quad x \in \mathbb{R}^+. \quad (9)$$

Тогда с учетом (7) и (9) приходим к следующему нелинейному интегральному уравнению:

$$F(x) = \int\limits_x^\infty e^{-\mu(t-x)} Q\left(\int\limits_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \int\limits_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F(z)dzd\tau\right) dt, \qquad x \in \mathbb{R}^+ \quad (10)$$

относительнофункции F, удовлетворяющей условиям:

$$F(+\infty)=\frac{\eta}{\mu}\text{и}\quad F\in W_{\infty}^{1}(\mathbb{R}^{+}). \qquad (11)$$

Рассмотрим следующую функцию:

$$W(x)=\int_{0}^{\infty}e^{-\mu z}\int_{0}^{\infty}K_{a}(x+y-z)\,e^{-\mu y}dydz,\ \ x\in\mathbb{R}. \qquad (12)$$

Из вида ядра $K_a(x)$ непосредственно вытекают следующие нижеприведенные свойства функции $W(x)$:

$$W(-x)=W(x),\ \ x\in\mathbb{R}^{+}, \qquad (13)$$

$$W(x)>0,\quad x\in\mathbb{R},\quad \int_{-\infty}^{\infty}W(x)dx=1, \qquad (14)$$

$$W\in C^{\infty}(\mathbb{R})\cap M(\mathbb{R}), \qquad (15)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}|x|^{m}W(x)dx\ <+\infty,\quad \int_{-\infty}^{\infty}x^{2m+1}W(x)dx=0,\ \ m=0,1,2,\dots, \qquad (16)$$

где$C^{\infty}(\mathbb{R})-$ пространство бесконечно дифференцируемых функций на$\mathbb{R}$,а $M(\mathbb{R})$ $-$ пространство ограниченных функций на $\mathbb{R}$.

Рассмотрим следующее характеристическое уравнение:

$$\int_{0}^{\infty}e^{-pt}W(t)dt=\frac{1}{2\alpha},\quad p\in[0,+\infty) \qquad (17)$$

относительно p. Из теоремы Больцано-Коши с учетом $(13),(14)$ и условия $\alpha>1$ следует, что уравнение (17) имеет единственное положительное решение p_0.

Доказательство следующей леммы осуществляется аналогично доказательствулеммы 3 из работы [8].

Лемма. *Имеет место следующая оценка снизу*:

$$\int_{0}^{\infty}\big(W(x-t)-W(x+t)\big)\,(1-e^{-p_0 t})dt\geq\frac{1}{\alpha}(1-e^{-p_0 x}),x\in\mathbb{R}^{+}, \qquad (18)$$

где $p_0>0-$ *единственное решение характеристического уравнения* (17).

3. Последовательные приближения для интегрального уравнения (10)

Рассмотрим для уравнения (10) следующие последовательные приближения:

$$F_{n+1}(x)=\int_x^\infty e^{-\mu(t-x)}Q\left(\int_0^\infty\big(K_a(t-\tau)-K_a(t+\tau)\big)\int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)}F_n(z)dzd\tau\right)dt,\qquad x\in\mathbb{R}^+,\quad(19)$$

$F_0(x):=\dfrac{\eta}{\mu},\ \ n=0,1,2,\dots,\ \ x\in\mathbb{R}^+.$

Из определения F_0, с учетом монотонности Q на $[0,\eta]$ и(5) при $n=0$ имеем:

$$0\le F_1(x)\le\int_x^\infty e^{-\mu(t-x)}Q\left(\int_0^\infty\big(K_a(t-\tau)-K_a(t+\tau)\big)\frac{\eta}{\mu^2}d\tau\right)dt\le$$

$$\le\int_x^\infty e^{-\mu(t-x)}Q\left(\frac{\eta}{\mu^2}\int_0^\infty K_a(t-\tau)d\tau\right)dt\le\int_x^\infty e^{-\mu(t-x)}Q\left(\frac{\lambda\eta}{\mu^2}\right)dt=$$

$$=Q(\eta)\int_x^\infty e^{-\mu(t-x)}dt=\frac{\eta}{\mu}=F_0(x).$$

Предполагая, что для некоторого натурального n

$$F_n(x)\ge 0\ \text{ и }\ F_n(x)\le F_{n-1}(x),\ \ x\in\mathbb{R}^+\qquad(20)$$

и используя монотонность функции Qна $[0,\eta]$, из (19), получим:

$$F_{n+1}(x)\le\int_x^\infty e^{-\mu(t-x)}Q\left(\int_0^\infty\big(K_a(t-\tau)-K_a(t+\tau)\big)\int_0^\tau e^{-\mu(t-\tau)}F_{n-1}(z)dzd\tau\right)dt==F_n(x),$$

$$F_{n+1}(x) \geq 0, \quad x \in \mathbb{R}^+.$$

Теперь докажем, что для любого натурального n имеет место следующая оценка снизу:

$$F_n(x) \geq \frac{\xi}{\mu}(1 - e^{-p_0 x}), \;\; x \in \mathbb{R}^+. \qquad (21)$$

В случае $n = 0$ неравенство (21) непосредственно следует из включения $\xi \in (0, \eta)$ и определения нулевого приближения. Предполагая, что (21) имеет место при некотором$n \in \mathbb{N}$ и используя монотонность функции Q, а также неравенство (a_2), из $(19,)$ будем иметь:

$$F_{n+1}(x) \geq \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} Q\left(\int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \frac{\xi}{\mu}\int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)}(1 - e^{-p_0 z}) dz d\tau\right) dt. \qquad (22)$$

Так как

$$0 \leq \frac{\xi}{\mu}\int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)}(1 - e^{-p_0 z}) dz d\tau \leq$$

$$\leq \frac{\xi}{\mu}\int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} dz d\tau \leq$$

$$\leq \frac{\xi}{\mu^2}\int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) d\tau \leq \frac{\xi}{\mu^2}\int_0^\infty K_a(t-\tau) d\tau \leq \frac{\xi}{\mu^2}\lambda = \xi,$$

то из $(22), (18), (\mathrm{a}_2)$ с учетом теоремы Фубини (см. [9]) имеем:

$$F_{n+1}(x) \geq$$

$$\geq \frac{\alpha\xi}{\mu}\int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)}(1 - e^{-p_0 z}) dz d\tau dt =$$

$$= \frac{\alpha\xi}{\mu}\int_0^\infty \big(W(x-z) - W(x+z)\big)(1 - e^{-p_0 z}) dz \geq$$

$$\geq \frac{\alpha\xi}{\mu}\frac{1}{\alpha}(1-e^{-p_0x}) = \frac{\xi}{\mu}(1-e^{-p_0x}).$$

Итак, оценки (21) доказаны.

Из непрерывности функции Qи (19) следует, что $F_n \in C(\mathbb{R}^+)$, $n = 0,1,2,\dots$.

Записывая итерации(19) следующим образом:

$$F_{n+1}(x) = \int\limits_0^\infty e^{-\mu p} Q\left(\int\limits_{-\infty}^{x+p} K_a(y) \int\limits_0^{x+p-y} e^{-\mu u} F_n(x+p-y-u)dudy - \right.$$

$$\left. - \int\limits_0^\infty K_a(x+p+\tau) \int\limits_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F_n(z)dzd\tau\right)dp,$$

$$F_0(x) = \frac{\eta}{\mu},\ \ n = 0,1,2,\dots,\ \ x \in \mathbb{R}^+$$

и используя монотонность ядра $K_a(x)$ и функции Q, индукцией по n, можно доказать, что

$$F_n(x)\ \uparrow\ \text{ по }\ x\ \text{ на }\ \mathbb{R}^+,\ \ n = 0,1,2,\dots. \qquad (23)$$

Следовательно, последовательность $\{F_n(x)\}_{n=0}^\infty$ непрерывных функций имеет поточечный предел, когда $n \to \infty$:

$$\lim_{n\to\infty} F_n(x) = F(x),$$

который является решением уравнения (10) в силу теоремы Б. Леви (см. [9]), причем

$$\frac{\xi}{\mu}(1-e^{-p_0x}) \leq F(x) \leq \frac{\eta}{\mu},\ \ x \in \mathbb{R}^+, \qquad (24)$$

$$F(x)\ \uparrow \text{ по }\ x\ \text{ на }\ \mathbb{R}^+. \qquad (25)$$

Из непрерывности ядра K_aи функцииQс учетом (10) следует непрерывность предельной функции $F(x)$. Так как $F \in C(\mathbb{R}^+)$, то опять, используя непрерывность ядра K_a и функции Q, заключаем, что

$$Q\left(\int\limits_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \int\limits_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F(z)dzd\tau\right)$$

$$\in C(\mathbb{R}^+) \cap M(\mathbb{R}^+). \qquad (26)$$

Следовательно,

$$\int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} Q\left(\int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big)\int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F(z)dzd\tau\right) dt \in W_\infty^1(\mathbb{R}^+). \qquad (27)$$

Таким образом, с учетом (27) и (10) заключаем, что $F \in W_\infty^1(\mathbb{R}^+)$. Из свойств функции $F(x)$ следует, что существует

$$\lim_{x\to\infty} F(x) = \delta,$$

причем

$$0 < \delta \le \frac{\eta}{\mu}.$$

Принимая во внимание непрерывность функции Q и известное свойство предела в бесконечности операции свертки (см. [10]), из (10) будем иметь:

$$\delta = \lim_{x\to+\infty}\left\{\int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} Q\left(\int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big)\int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F(z)\, dzd\tau\right) dt\right\} =$$

$$= \frac{1}{\mu}\lim_{t\to+\infty} Q\left(\int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big)\int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F(z)dzd\tau\right) =$$

$$= \frac{1}{\mu} Q\left(\lim_{t\to+\infty}\int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big)\int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F(z)dzd\tau\right) =$$

$$= \frac{1}{\mu} Q\left(\int_{-\infty}^\infty K_a(u)du \cdot \lim_{\tau\to+\infty}\left(\int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F(z)dz\right)\right) =$$

$$= \frac{1}{\mu} Q\left(\lambda\cdot\frac{1}{\mu}\lim_{z\to+\infty} F(z)\right) = \frac{1}{\mu} Q(\mu\delta) \quad\Longrightarrow\quad Q(\mu\delta) = \mu\delta.$$

Так как $0<\mu\delta\le\eta$ и число $\eta>0$ является первым положительным корнем уравнения $Q(u)=u$, то $\mu\delta=\eta\Longrightarrow\delta=\eta/\mu$. С учетом начального условия $f(0)=0$ из (9) получаем, что

$$f(x)=\int_0^x e^{-\mu(x-t)}F(t)dt=\int_0^x e^{-\mu\tau}F(x-\tau)d\tau,\quad x\in\mathbb{R}^+.\ (28)$$

В силу (25) и определения $f(x)$имеем, что

$$f(x)\ \uparrow\ \text{ по } x \text{ на } \mathbb{R}^+.$$

Воспользовавшись двойной оценкой (24), из (28) следует, что

$$\frac{\xi}{\mu}\int_0^x e^{-\mu(x-t)}(1-e^{-p_0t})dt\le f(x)\le\frac{\eta}{\mu^2}(1-e^{-\mu x}),\quad x\in\mathbb{R}^+.$$

Учитывая свойство предела операции свертки в (28), будем иметь:

$$\lim_{x\to+\infty}f(x)=\frac{1}{\mu}\lim_{x\to+\infty}F(x)=\frac{\eta}{\mu^2}=\frac{\eta}{\lambda}.$$

4. Одно дополнительное свойство построенного решения

В настоящем параграфе при более сильном ограничении на функцию Q докажем, что при $\eta=1$

$$\frac{1}{\lambda}\pm\varphi\in L_1(\mathbb{R}^{\mp}).\quad (29)$$

Относительно функции Q предложим, что выполняются условия $(a_1),(a_3)$, при $\eta=1$ и существует натуральное число $m\ge2$ такое, что

$$Q(u)\ge u^{\frac{1}{m}},\ \ u\in[0,1]\quad (30)$$

(это условие более сильное, чем условие (a_2)). Действительно, для любого $\alpha>1$ в качестве ξ выбирая

$$\xi=\left(\frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{m}{m-1}}<1=\eta,\quad (31)$$

приходим к условию (a_2).

Сперва докажем, что

$$\frac{1}{\mu}-F\in L_1(\mathbb{R}^+).\quad (32)$$

С этой целью сначала индукцией по n докажем, что

$$\frac{1}{\mu} - F_n \in L_1(\mathbb{R}^+), \quad n = 0,1,2,\dots, \tag{33}$$

где F_nопределяется как в (19). В случае $n = 0$ включение (33) сразу следует из (19) при $\eta = 1$. Предположим, что (33) имеет место при некотором$n \in \mathbb{N}$. Тогда в силу монотонности F_n, а также (30), (5) и теоремы Фубини из (19) будем иметь:

$$0 \le \frac{1}{\mu} - F_{n+1}(x) = \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \left\{ 1 - Q\left(\int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F_n(z)dzd\tau \right) \right\} dt \le \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \left\{ 1 - \left(\int_0^\infty (K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)) \int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F_n(z)dzd\tau \right)^{\frac{1}{m}} \right\} dt =$$

$$= \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \frac{1 - \int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F_n(z)dzd\tau}{1 + q_n^{\frac{1}{m}}(t) + q_n^{\frac{2}{m}}(t) + \dots + q_n^{\frac{m-1}{m}}(t)} dt \le$$

$$\le \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \frac{1 - \int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F_n(z)dzd\tau}{1 + q_n^{\frac{1}{m}}(t)} dt \le$$

$$\le \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \frac{1 - \int_0^\infty K_a(t-\tau) \int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F_n(z)dzd\tau + \frac{1}{\mu^2}\int_t^\infty K_a(y)dy}{1 + q_n^{\frac{1}{m}}(t)} dt \le$$

$$\le \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \frac{\int_0^\infty T_a(t-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_n(z)\right)dz + \frac{1}{\mu}\int_0^\infty T_a(t+z)dz}{1 + q_n^{\frac{1}{m}}(t)} dt + \frac{1}{\mu^2} \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \int_t^\infty K_a(y)dydt,$$

где

$$T_a(u) := \int_0^\infty K_a(u-z)e^{-\mu z}dz,$$

$$q_n(t) := \int_0^\infty \big(K_a(t-\tau) - K_a(t+\tau)\big) \int_0^\tau e^{-\mu(\tau-z)} F_n(z)dzd\tau =$$
$$= \int_0^\infty \big(T_a(t-z) - T_a(t+z)\big)F_n(z)dz, \quad n = 0,1,2,\dots, \quad t \in \mathbb{R}^+. \tag{34}$$

Снова используя теорему Фубини из полученного выше неравенства, будем иметь:

$$0 \le \frac{1}{\mu} - F_{n+1}(x) \le \frac{1}{\mu^3} \int_x^\infty K_a(y)dy + \frac{1}{\mu^2} \int_x^\infty T_a(y)dy + J_n(x), \tag{35}$$

где

$$J_n(x) := \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \frac{\int_0^\infty T_a(t-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_n(z)\right)dz}{1 + q_n^{\frac{1}{m}}(t)} dt, \ \ n = 0,1,2,\dots,$$
$$x \in \mathbb{R}^+.$$

Так как

$$0 \le J_n(x) \le \int_0^\infty W(x-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_n(z)\right)dz, \ \ x \in \mathbb{R}^+,$$

то в силу (12) и индукционного предположения $J_n \in L_1(\mathbb{R}^+)$.
Поскольку

$$q_n(t) \ge 0, \quad t \in \mathbb{R}^+, \quad n = 0,1,2,\dots,$$
$$\int_x^\infty K_a(y)dy\,, \int_x^\infty T_a(y)dy,\ J_n \in L_1(\mathbb{R}^+),$$

то из неравенства (35) следует, что

$$\frac{1}{\mu} - F_{n+1} \in L_1(\mathbb{R}^+).$$

Принимая во внимание (34), (20) и (21), сверху оценим интегралы $J_n(x)$:

$$J_n(x) \leq$$

$$\leq \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \frac{\int_0^\infty T_a(t-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dz}{1 + \left(\frac{\xi}{\mu}\right)^{\frac{1}{m}} \left(\int_0^\infty \left(T_a(t-z) - T_a(t+z)\right)(1 - e^{-p_0 z})dz\right)^{\frac{1}{m}}} dt \leq$$

$$\leq \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \frac{\int_0^\infty T_a(t-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dz}{1 + \left(\frac{\xi}{\mu}\right)^{\frac{1}{m}} \left(\int_t^\infty \left(T_a(t-z) - T_a(t+z)\right)(1 - e^{-p_0 z})dz\right)^{\frac{1}{m}}} dt \leq$$

$$\leq \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \frac{\int_0^\infty T_a(t-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dz}{1 + \left(\frac{\xi}{\mu}\right)^{\frac{1}{m}} (1 - e^{-p_0 t})^{\frac{1}{m}} \left(\int_t^\infty \left(T_a(t-z) - T_a(t+z)\right)dz\right)^{\frac{1}{m}}} dt \leq$$

$$\leq \int_x^\infty e^{-\mu(t-x)} \frac{\int_0^\infty T_a(t-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dz}{1 + \left(\frac{\xi}{\mu}\right)^{\frac{1}{m}} (1 - e^{-p_0 t})^{\frac{1}{m}} \left(\int_0^\infty T_a(y)dy - \int_{2x}^\infty T_a(y)dy\right)^{\frac{1}{m}}} dt,$$

$$n = 0,1,2,\ldots, \quad x \in \mathbb{R}^+.$$

Проинтегрировав обе части полученных неравенств по xот 0 до$+\infty$ с учетом (12), (14) и (34), получаем следующую цепочку неравенств:

$$0 \leq \int_0^\infty J_n(x)dx$$

$$\leq \int_0^\infty \frac{\int_0^\infty W(x-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dz}{1 + \left(\frac{\xi}{\mu}\right)^{\frac{1}{m}} (1 - e^{-p_0 x})^{\frac{1}{m}} \left(\int_0^\infty T_a(y)dy - \int_{2x}^\infty T_a(y)dy\right)^{\frac{1}{m}}} dx =$$

$$=\int_0^1 \frac{\int_0^\infty W(x-z)\left(\frac{1}{\mu}-F_{n+1}(z)\right)dz}{1+\left(\frac{\xi}{\mu}\right)^{\frac{1}{m}}(1-e^{-p_0x})^{\frac{1}{m}}\left(\int_0^\infty T_a(y)dy-\int_{2x}^\infty T_a(y)dy\right)^{\frac{1}{m}}}dx+$$

$$+\int_1^\infty \frac{\int_0^\infty W(x-z)\left(\frac{1}{\mu}-F_{n+1}(z)\right)dz}{1+\left(\frac{\xi}{\mu}\right)^{\frac{1}{m}}(1-e^{-p_0x})^{\frac{1}{m}}\left(\int_0^\infty T_a(y)dy-\int_{2x}^\infty T_a(y)dy\right)^{\frac{1}{m}}}dx\le$$

$$\le\int_0^1\int_0^\infty W(x-z)\left(\frac{1}{\mu}-F_{n+1}(z)\right)dzdx+$$

$$+\frac{1}{1+\varepsilon}\int_1^\infty\int_0^\infty W(x-z)\left(\frac{1}{\mu}-F_{n+1}(z)\right)dzdx,$$

где

$$\varepsilon:=\left(\frac{\xi}{\mu}\right)^{\frac{1}{m}}(1-e^{-p_0})^{\frac{1}{m}}\left(\int_0^\infty T_a(y)dy-\int_2^\infty T_a(y)dy\right)^{\frac{1}{m}}=$$

$$=\left(\frac{\xi(e^{p_0}-1)}{\mu e^{p_0}}\right)^{\frac{1}{m}}\left(\int_0^2 T_a(y)dy\right)^{\frac{1}{m}}>0,$$

поскольку $T_a(y)>0, y\in\mathbb{R}$. Интегрируя обе части (35) по x от 0 до $+\infty$, с использованием выше полученной интегральной оценки для $J_n(x)$и с учетом (12), (14), получаем следующую цепочку неравенств:

$$0\le\int_0^\infty\left(\frac{1}{\mu}-F_{n+1}(x)\right)dx$$

$$\le\frac{1}{\mu^3}\int_0^\infty\int_x^\infty K_a(y)dydx+\frac{1}{\mu^2}\int_0^\infty\int_x^\infty T_a(y)dydx+\int_0^\infty J_n(x)dx\le$$

$$\le \frac{1}{\mu^3}\int_0^\infty yK_a(y)dy + \frac{1}{\mu^2}\int_0^\infty yT_a(y)dy$$

$$+\int_0^1\int_0^\infty W(x-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dzdx +$$

$$+\frac{1}{1+\varepsilon}\int_1^\infty\int_0^\infty W(x-z)\left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dzdx, \quad n = 0,1,2,\dots .$$

Изменением порядка интегрирования в последних двух интегралах правой части, полученных выше неравенств, будем иметь:

$$0 \le \int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(x)\right)dx \le \frac{1}{\mu^3}\int_0^\infty yK_a(y)dy + \frac{1}{\mu^2}\int_0^\infty yT_a(y)dy +$$

$$+\int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)\int_0^1 W(x-z)dxdz +$$

$$+\frac{1}{1+\varepsilon}\int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)\int_1^\infty W(x-z)dxdz \le$$

$$\le \frac{1}{\mu^3}\int_0^\infty yK_a(y)dy + \frac{1}{\mu^2}\int_0^\infty yT_a(y)dy + \int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dz \cdot \int_{-\infty}^1 W(\tau)d\tau +$$

$$+\frac{1}{1+\varepsilon}\int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dz \le \frac{1}{\mu^3}\int_0^\infty yK_a(y)dy + \frac{1}{\mu^2}\int_0^\infty yT_a(y)dy +$$

$$+ max\left\{\int_{-\infty}^1 W(\tau)d\tau, \frac{1}{1+\varepsilon}\right\} \cdot \int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(z)\right)dz, \quad n = 0,1,2,\dots .$$

Так как

$$\varepsilon > 0, \;\; 0 < \int_{-\infty}^1 W(\tau)d\tau < 1,$$

то

$$\delta := max\left\{\int_{-\infty}^{1} W(\tau)d\tau, \frac{1}{1+\varepsilon}\right\} \in (0,1).$$

Итак, из полученного неравенства приходим к следующей оценке:

$$0 \leq \int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F_{n+1}(x)\right) dx \leq$$

$$\leq (1-\delta)^{-1}\left(\frac{1}{\mu^3}\int_0^\infty yK_a(y)dy + \frac{1}{\mu^2}\int_0^\infty yT_a(y)dy\right),$$

$$n = 0,1,2,\ldots. \qquad (36)$$

Следовательно, согласно теореме Б. Леви, получим, что

$$\frac{1}{\mu} - F \in L_1(\mathbb{R}^+),$$

причем

$$\int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F(x)\right) dx \leq (1-\delta)^{-1}\left(\frac{1}{\mu^3}\int_0^\infty yK_a(y)dy + \frac{1}{\mu^2}\int_0^\infty yT_a(y)dy\right). \quad (37)$$

Теперь докажем, что

$$\frac{1}{\lambda} - f \in L_1(\mathbb{R}^+).$$

Из определений f иμ, (см. (28)) имеем, что

$$0 \leq \frac{1}{\lambda} - f(x) = \frac{1}{\mu}\int_0^x e^{-\mu(x-t)}dt + \frac{1}{\mu^2}e^{-\mu x} -$$

$$- \int_0^x e^{-\mu(x-t)}F(t)dt = \frac{1}{\mu^2}e^{-\mu x} + \int_0^x e^{-\mu(x-t)}\left(\frac{1}{\mu} - F(t)\right)dt. \qquad (38)$$

Учитывая (37), из (38) будем иметь:

$$0 \leq \int_0^\infty \left(\frac{1}{\lambda} - f(x)\right) dx = \frac{1}{\mu^3} + \int_0^\infty \int_0^x e^{-\mu(x-t)}\left(\frac{1}{\mu} - F(t)\right)dtdx =$$

$$= \frac{1}{\mu^3} + \int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F(t)\right) \int_t^\infty e^{-\mu(x-t)} dx dt = \frac{1}{\mu^3} + \frac{1}{\mu} \int_0^\infty \left(\frac{1}{\mu} - F(t)\right) dt \leq$$

$$\leq \frac{1}{\mu^3} + (1-\delta)^{-1} \left(\frac{1}{\mu^4} \int_0^\infty y K_a(y) dy + \frac{1}{\mu^3} \int_0^\infty y T_a(y) dy \right).$$

Следовательно,

$$\frac{1}{\lambda} - f \in L_1(\mathbb{R}^+).$$

Так как функция φ является нечетным продолжением на $\mathbb{R}^-$ функции f, приходим к включениям (29). На основе вышеизложенных фактов, приходим к следующим результатам:

Теорема 1. *Пусть функция Q обладает свойствами $(a_1) - (a_3)$, а$\lambda > 0$ —заданное число. Тогда граничная задача $(1) - (2)$ имеет нетривиальное нечетное решение, причем*

$$\varphi(x) \geq 0, \ \ x \in \mathbb{R}^+ \ \text{ и } \ \varphi(x) < 0, \ \ x \in \mathbb{R}^-.$$

Теорема 2. *Пусть функция Q удовлетворяет условиям $(a_1), (a_3)$ и (30). Тогда для решения φ граничной задачи $(1) - (2)$ при $\eta = 1$ имеют место следующие включения:*

$$\frac{1}{\lambda} \pm \varphi \in L_1(\mathbb{R}^\mp).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров В.С., Волович Я.И.* О нелинейном уравнении динамики в теории p-адической струны // ТМФ, (2004), 138:3. СС. 355−368. Theoret. andMath. Phys. 138:3, (2004). СС. 297−309.
2. *Volovich I.* p-adic string // Classical Quantum Gravity, (1987), 4:4, L83−L87.

3. *Хачатрян Х.А.* О разрешимости некоторых классов нелинейных интегральных уравнений в теории p-адической струны // Изд-во «РАН». Сер. матем.,(2018), 82:2, 172−193.
4. *Хачатрян Х.А.* Разрешимость одного класса интегро-дифференциальных уравнений второго порядка с монотонной нелинейностью на полуоси // Изд-во «РАН». Сер. матем., (2010), 74:5. СС. 191−204.
5. *Енгибарян Н.Б., Хачатрян А.Х.* Интегро-дифференциальное уравнение нелокального взаимодействия волн // Матем. сб., (2007), 198:6. СС. 89−106.
6. *Хачатрян Х.А.* О нетривиальной разрешимости одного класса нелинейных интегро-дифференциальных уравнений второго порядка // Матем. тр., (2012), 15:2. СС. 172-193.
7. *Хачатрян Х.А., Петросян А.С.* Об одной начально-краевой задаче для интегро-дифференциального уравнения второго порядка со степенной нелинейностью // Изд-ов. вузов. Матем., (2018), 6. СС. 48−62.
8. *Хачатрян Х.А.* О разрешимости одной граничной задачи в p-адической теории струн // Труды ММО, (2018), 79:1. СС. 1−16.
9. *Колмогоров А.Н., Фомин В.С.* Элементы теории функций и функционального анализа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 7-е изд., (2004). 572 с.
10. *Геворкян Г.Г., Енгибарян Н.Б.* Новые теоремы для интегрального уравнения восстановления // Изд-во. НАН Армении. Матем., (1997), 32:1. СС. 5−20.

ON SOLVABILITY OF ONE CLASS OF NONLINEAR PSEUDODIFFERENTIAL EQUATIONS ON THE WHOLE LINE

Kh. Khachatryan, E. Andreasyan

ABSTRACT

The work is devoted to the problem of solvability in the Sobolev$W_\infty^2(\mathbb{R}^+)$ space of a class of pseudodifferential equations. Under certain conditions on the nonlinear part it is proved, that the considering equation has an odd solution $\varphi \in W_\infty^2(\mathbb{R}^+)$, with a definite behavior at infinity and satisfies condition $\varphi(0) = 0$.

Keywords: nontrivial odd solution, Sobolev space, monotone, iterations, asymptoticsof the solution.

ԱՄԲՈՂՋ ԱՌԱՆՑՔԻ ՎՐԱ ՈՉ ԳԾԱՅԻՆ ՊՍԵՎԴՈԴԻՖԵՐԵՆՑԻԱԼ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՄԵԿ ԴԱՍԻ ԼՈՒԾԵԼԻՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Խ. Ա. Խաչատրյան, Է. Ա.. Անդրեասյան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքը նվիրված է Սոբոլևի $W_\infty^2(\mathbb{R}^+)$ տարածությունում պսևդո-դիֆերենցիալ հավասարումների մեկդասի լուծելիությանը: Ոչ գծային մասի վրա որոշակի պայմանների դեպքում ապացուցված է, որ դիտարկվող հավասարումնունի $\varphi \in W_\infty^2(\mathbb{R}^+)$ կենտ լուծում՝ անվերջում որոշակի վարքով և$\varphi(0) = 0$ պայմանին բավարարող:

Հիմնաբառեր՝ ոչ տրիվիալկենտ լուծում, Սոբոլևի տարածություն, մոնոտոնություն, մոտարկում, լուծմանասիմպտոտիկա:

ФИЗИКА

УДК 669.017

ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ МАГНИТОУПОРЯДОЧЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМЕ $Gd_5Si_{2-x}Ge_{2-x}Sn_{2x}$

Н.П. Арутюнян

Ереванский Государственный университет

norayrharutyunyan@ysu.am

АННОТАЦИЯ

Из температурных и полевых зависимостей намагниченности сплавов $Gd_5Si_{2-x}Ge_{2-x}Sn_{2x}$ с 2x = 0,04; 0,05; 0,06; 0,08 были определены температуры Кюри T_C и максимальные изменения магнитной части энтропии ΔS_M^{max} сплавов. Установлено, что при легировании сплавов оловом значения температуры Кюри T_C и ΔS_M^{max} сплавов возрастают. Наблюдается значительное увеличение ΔS_M^{max} при увеличении T_C почти на $\Delta T_C \approx 18K<$ по сравнению с чистым $Gd_5Si_2Ge_2$. Полученные данные свидетельствуют о том, что вышеуказанные

соединения, обладая высоким магнитокалорическим эффектом, могут быть использованы в магнитных рефрижераторах в качестве рабочего вещества.

Ключевые слова: полевые зависимости, намагниченность сплавов, температура Кюри.

1. Введение

В магнитоупорядоченных материалах (ферро- и антиферромагнетиках) при изменении внешнего магнитного поля в рабочем диапазоне температур возникает магнитокалорический эффект (МКЭ), обусловленный максимальным изменением магнитной части энтропии $\Delta S_M^{\max}$ рабочего тела. Благодаря обнаружению значительных величин калорических эффектов в области фазовых переходов типа порядок-беспорядок, методы охлаждения на основе МКЭ в настоящее время рассматриваются в качестве конкурентоспособных по отношению к традиционным методам охлаждения в широком интервале температур. Известно, что максимум величины ΔS_M ферромагнетиков достигается в окрестности температуры фазового перехода ферромагнетизм-парамагнетизм. Следовательно, точка Кюри T_C материалов, из которых изготовлено рабочее тело магнитного холодильника, работающего, например, в области комнатных температур, должна лежать вблизи $T_C \approx$ 293K. Такими свойствами обладают сплавы тяжелых редкоземельных металлов на основе гадолиния [1–3].

В работе [4] показано, что эффективным магнитокалорическим материалом, по сравнению с гадолинием, является соединение $Gd_5Si_2Ge_2$ с гигантским МКЭ при T_C= 262K. Однако вышеуказанное соединение в качестве хладагента в области температур $T \geq$ 262K недостаточно эффективно, так как максимум температурной зависимости ΔS_M^{max} должен находиться в интервале температур выше точки Кюри данного образца.

В работах [5, 6] авторами были измерены намагниченность и магнитную восприимчивость магнитоупорядоченных соединений в системе$Gd_5Si_xGe_{4-x}$с частичным замещением атомов кремния и германия изовалентными атомами олова (Sn). Было показано, что частичное замещение кремния и германия оловом приводит к возрастанию температуры Кюри и увеличению магнитной части энтропииΔS_M^{max}.

В настоящей работе представлены результаты исследований магнитоупорядоченных соединений системы $Gd_5Si_{2-x}Ge_{2-x}Sn_{2x}$с новым стехиометрическим составом (2*x*= 0, 04; 0,05; 0,06; 0,08). Для определения скачка энтропии ΔS_M был использован метод расчета намагниченности данного образца на основе известных полевых и температурных зависимостей. Изотермическое изменение энтропии в исследуемом интервале магнитного поля вычислялось по формуле:

$$\Delta S_m = \int_0^H \left(\frac{\sigma M}{\sigma T}\right) H\, dH \qquad (1),$$

полученном из уравнений Максвелла [7].

$$\left(\frac{\partial S_M}{\partial H}\right) = \left(\frac{\partial M}{\partial T}\right) H (2)$$

Так как намагниченность измеряется при дискретных значениях магнитного поля, то, согласно [8], выражение (1) может быть аппроксимировано формулой:

$$\Delta S_M = \sum \frac{1}{T_{i+1} - T_i} (M_{i+1} - M_i)\Delta H_i, (3)$$

где M_iи M_{i+1}– намагниченности, измеренные в полях *H* при температурах T_iиT_{i+1}, соответственно.

2. Методикаэксперимента и обсуждение результатов.

Поликристаллические образцы соединений $Gd5Si2{-}xGe2{-}xSn2x$с 2*x*= 0; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08 были синтезированы в гелиевой атмосфере индукционным методом и идентифицированы рентгенографически на дифрактометре ДРОН-2 по методике, описанной в [5]. Намагниченность образцов измерялась методом Фонера [9] путем регистрации

э.д.с. разбаланса, возникающей в системе из двух измерительных катушек, включенных навстречу друг другу при вибрировании образца в магнитном поле. Вибратором служил акустический динамик, подключенный к генератору низкочастотных колебаний. Измерения намагниченности образцов проводились в постоянном магнитном поле, которое менялось в пределах 0–1, 0 Т. Температура образцов менялась в интервале 250–300К.

На рис.1 приведены изотермы намагниченностей одного из образцов соединения $Gd_5Si_{2-x}Ge_{2-x}Sn_{2x}$($2x$= 0,04), измеренные в интервале значений магнитного поля 0-1,0 Т.Как видно, на изотермах намагниченности образца наблюдается резкий спад в области температуры фазового перехода (~280К), свидетельствующий о типичном ферромагнитном поведении исследуемого образца. Численные значения производной намагниченности по температуре при постоянном магнитном поле определялись из аналогичных кривых *M*(*T*) исследуемых образцов.

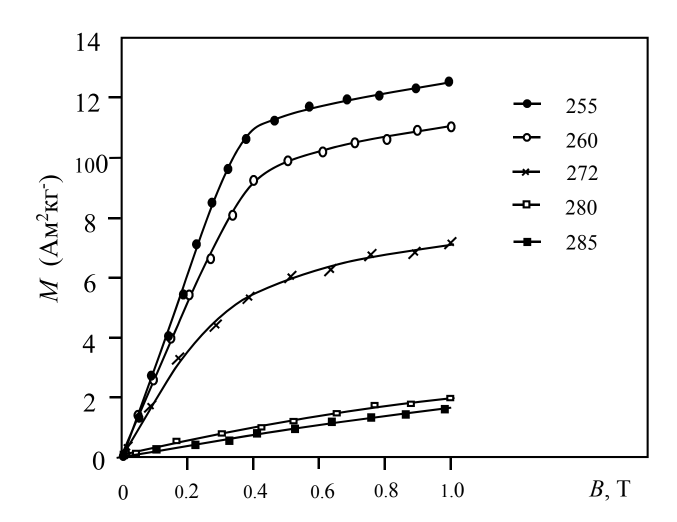


Рис. 1. Изотермы намагниченностей $Gd_5Si_{0,98}Ge_{1.98}Sn_{0,04}$(2x= 0,04) изменения магнитной части энтропии в магнитных полях 0-1,0Т.

Расчет температурной зависимости изменения магнитной части энтропии в магнитных полях 0–1,0Т для различных образцов показал, что для каждого из них существует определенный максимум $\Delta S_{\boldsymbol{M}}^{\boldsymbol{max}}$, по которым были определены соответствующие температуры Кюри (рис.2).

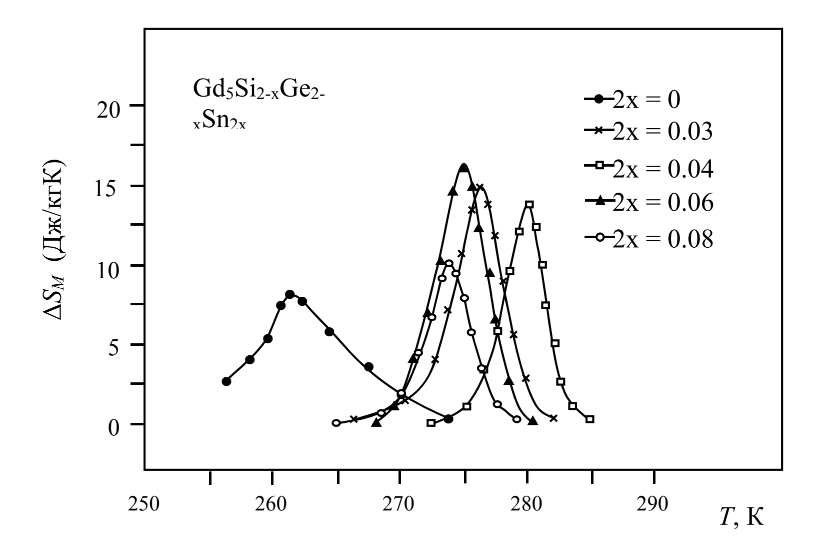


Рис. 2. Температурные зависимости соединения в магнитных полях 0-1,0Тсоединений $Gd_5Si_{2-x}Ge_{2-x}Sn_{2x}$(2x= 0; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08).

В таблице 1. приведены данные по TC и $\Delta S_{\boldsymbol{M}}^{\boldsymbol{max}}$ исследуемых соединений.

2x	Состав	T_C, K	$\Delta S_{\boldsymbol{M}}^{\boldsymbol{max}}$, Дж/кг K
0	$Gd_5Si_2Ge_2$	262	8.1
0,03	$Gd_5Si_{1.985}Ge_{1.985}Sn_{0.03}$	276[6]	14.8[6]
0,04	$Gd_5Si_{1.98}Ge_{1.98}Sn_{0.04}$	280	14
0,06	$Gd_5Si_{1.97}Ge_{1.97}Sn_{0.06}$	275	16.3
0,08	$Gd_5Si_{1.96}Ge_{1.96}Sn_{0.8}$	273	10.5

Как видно из таблицы, частичное замещение кремния и германия оловом приводит квозрастаниюT_C по сравнению с чистым Gd5Si2Ge2 на $\Delta T_C \approx 18$K (2x=0,04), что на четыре градуса превышает результат, полученный в работе [6]. Как было сказано в работе [6], значительный-рост ΔS_{M}^{max} для легированных сплавов, по сравнению с чистыми Gd5Si2Ge2 можно объяснить уменьшением длины свободного пробега электронов, связанным с увеличением эффективного сечения рассеяния электронов на ионах Sn^{4+}, имеющих больший ионный радиус, чем Si^{4+} и Ge^{4+}. Это обстоятельство приводит к усилению *s–f* обменного взаимодействия между магнитоактивными ионами гадолиния, подобно изложенному в [10].

3. Заключение

Известно, что магнито-калорический эффект в магнитоупорядоченных соединениях возникает при изменении внешнего магнитного поля в рабочем диапазоне температур и он обусловен максимальным изменением магнитной части энтропии ΔS_{M}^{max} образца. Поскольку максимум величины ΔS_{M}^{max} ферромагнетиков достигается в окрестности температуры фазового перехода ферромагнетизм-паромагнетизм, то температура КюриT_C может играть важнейшую роль в поисаках материалов, из которых изготовлено рабочее тело магнитных холодильников. Для определения температуры КюриT_C в работе были измерены намагниченности сплавов $Gd_5Si_{2-x}Ge_{2-x}Sn_{2x}$с 2x=0,04; 0,05; 0,06; 0,08, и из их температурных и полевых зависимостей определены температуры КюриT_C и максимальные изменения магнитной части энтропии ΔS_{M}^{max}. Установлено, что при легировании сплавов оловом значения температуры Кюри и ΔS_{M}^{max} сплавов возрастают. Наблюдается значительное увеличение температуры Кюри почти на $\Delta T \approx 18$K, по сравнению с чистым $Gd_5Si_2Ge_2$.

Полученные данные свидетельствуют о том, что вышеуказанные соединения, обладая высоким магнито-калорическим эффектом, могут быть использованы в магнитных рефрижераторах, работающих в области комнатных температур вблизи $T_C \approx 293$К в качестве рабочего вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Brown G.V., Appl J.* Phys.,47,3673 (1976).
2. *Tishin A.M.* Gryogenics, 30,720 (1990).
3. *Никитин С.А.* Магнитные свойства редкоземельных металлов и их сплавов. М. Изд-во. МГУ, 1989.
4. *Pecharsky V.K., Gschneidner K.A*. Phys. Rev. Lett., 78, (№ 23), 4494 (1997).
5. *Агабабян Э.В., Арутюнян Н.П.* Извд-во. НАН Армении, Физика, 44, 294 (2009).
6. *Агабабян Э.В., Арутюнян Н.П.* Изд-во. НАН Армении, Физика, 50, 264 (2015).
7. *Bohigas X., del Barco E., Sales M., Tejada J., Magn J.* Mater. 196–197, 455 (1999).
8. *McMichael R.D., Rittel J.J., Shull R.D., Appl J*. Phys., 73, 6946(1993).
9. *Чечерников В.И.* Магнитные измерения. М. Изд-во. МГУ, 1963.
10. *Адамян В.Е., Шароян Э.Г.* Изд-во. НАН Армении, Физика, 36, 94 (2001).

MAGNETICALLY ORDERED COMPOUNDS IN THE $GD_5SI_{2-X}GE_{2-X}SN_{2X}$ SYSTEM AT CURIE'S TEMPERATURES

N. Harutyunyan

ABSTRACT

Maximal changes of the magnetic part of entropy ΔS_M^{max} of alloys versus temperature and field dependences of $Gd_5Si_{2-x}Ge_{2-x}Sn_{2x}$ alloys with 2x=0,03-0,08 are determined. It is established as a result of Sn doping leads to increasing the values T_C (in the case of, 2x=0,04) and ΔS_M^{max} in alloys. The obtained data allow to conclude that the above mentioned magnetically ordered compounds can be occupied in magnetocaloric effect and can be used as a working substance of magnetic refrigerators.

Keywords: полевые зависимости, намагниченность сплавов, температура Кюри.

$Gd_5Si_{2-x}Ge_{2-x}Sn_{2x}$ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՐԳԱՎՈՐՎԱԾ ՄԻԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿՅՈՒՐԻԻ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐԸ

Ն. Պ. Հարությունյան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

2x=0,03-0,08 արժեքներով $Gd_5Si_{2-x}Ge_{2-x}Sn_{2x}$ համաձուլվածքների մագնիսականության ջերմաստիճանային և դաշտային կախվածություններից որոշված են համաձուլվածքների T_C Կյուրիի ջերմաստիճանները և էնթրոպիայի մագնիսական բաժնի ΔS_M^{max}-ի առավելագույն արժեքները: Հայտնաբերված է, որ անագով լեգիրման հետևանքով աճում է ինչպես

համաձուլվածքների Կյուրիի ջերմաստիճանները ($\Delta T \approx$ 18Կ, 2x=0,04 դեպքում), այնպես էլ ΔS_M^{max} -ի արժեքները: Ստացված արդյունքները վկայում են այնմասին, որ վերը նշված մագնիսակարգավորված միացությունները կարող են տիրապետել բարձր մագնիսակալորիական երևույթով և կարող են կիրառվել իբրև բանող նյութեր մագնիսական սառնարաններում:

Հիմնաբառեր` полевые зависимости, намагниченность сплавов, температура Кюри.

УДК 621.376

ИЗВЛЕЧЕНИЕ И РАСЧЕТ КЛЮЧЕВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ АНАЛОГОВЫХ МОДУЛЯЦИЙ

А.М. Тантушян

Институт радиофизики и электроники (НАН РА)

aramtant@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Автоматическое распознавание модуляций является одним из важнейших задач систем связи. Для распознавания типа модуляции, без предварительных данных о сигнале, необходимо в этапе предварительной обработки сигнала извлечь ключевые характеристики. В данной научной статье описаны ключевые характеристики сигналов, которые применяются для автоматического распознавания аналоговых модуляций, ипредставлен их расчет в среде графического программирования Lab VIEW.

Ключевые слова: автоматическое распознавание модуляций, ключевые характеристики сигнала, аналоговые модуляции.

Введение

Системы автоматического распознавания модуляций (АРМ) состоят из трех блоков: предварительной обработки сигнала, класси-

фикатора и демодулятора. В блоке предобработки принятый «неизвестный» сигнал разделяется на сегменты равной длины, из которых и извлекаются ключевые характеристики. Ключевые характеристики сигнала – это те данные, которые описывают конкретные особенности данного сигнала. При правильно выбранной группе ключевых характеристик можно с большой точностью определить тип модуляции сигнала, поскольку значения этих характеристик для каждого типа модулированного сигнала будут уникальными. Существуют типы модуляций, для которых значения какой-то характеристики будут близкими или одинаковыми, но не существуют такие типы модуляций, для которых значения всех характеристик одинаковы. Для расчета ключевых характеристик использовались такие параметры как: мгновенная амплитуда и фаза, и спектр мощности сигнала. В случае, когда данные о сигнале неизвестны, возникают проблемы, связанные с расчетом мгновенной частоты, амплитуды и фазы, которые подробно описаны в “Appendix A” работы Аззоуза и Нанди [1]. Так как в данной работе рассмотрены моделированные сигналы, то, соответственно, считается, что частота несущей известна.

В данной работе рассмотрены DSB (double side band), SSB (single side band) и FM (frequency modulation) типы аналоговых модуляций и ключевые характеристики [1], предназначенные для их распознавания. Представлено подробное описание извлечения и расчета этих характеристик в среде графического программирования Lab VIEW и результаты тестов автоматического распознавания с помощью искусственной нейронной сети.

Целью работы является описание практической реализации и решения задачи автоматического распознавания аналоговых модуляций, для чего в среде графического программирования Lab VIEW, на основе исследованной литературы, был разработан алгоритм для извлечения ключевых характеристик моделированных аналоговых модулированных сигналов. Полученные данные были поданы на входы ранее

разработанной базовой модели искусственной нейронной сети [2], которая использовалась в качестве классификатора для автоматического распознавания.

1. DSB модуляция. При DSB амплитудной модуляции модулированный сигнал$s(t)$описывается следующимиизвестным соотношением [3]:

$$s(t) = A(t)_c(1 + mx(t))cos(\omega_0\, t) \qquad (1),$$

где $A(t)_c$ – амплитуда несущей, m – индекс модуляции, $x(t)$ – это ннформационный сигнал, а ω_0 – несущая частота. Когда модулирующая функция $x(t)$периодична и выражается рядом Фурье, тогда имеем:

$$x(t) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(k\omega_1 t - \varphi_k) \qquad (2),$$

где k = *1, 2, ... , N*, c_kи φ_k соответственно амплитуда и начальная фаза k – го колебания, а ω_1– часота сигнала.Из (1) и (2) следует:

$$s(t) = A(t)_c \left[1 + m\sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos(k\omega_1 t - \varphi_k)\right] cos(\omega_0\, t) =$$

$$= A(t)_c \left\{ cos(\omega_0\, t) + \frac{m}{2}\sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos[(\omega_0 + k\omega_1)t - \varphi_k] + \right.$$

$$\left. + \frac{m}{2}\sum_{k=1}^{\infty} c_k \cos[(\omega_0 - k\omega_1)t + \varphi_k] \right\} \qquad (3).$$

Таким образом, спектр DSB модулированного сигнала состоит из колебания несущей частоты ω_0, колебаний с суммарными частотами$(\omega_0 + k\omega_1)$ и разностными частотами $(\omega_0 - k\omega_1)$. В частотном представлении – это две боковые полосы, с левой и правой стороны несущей, которые называются LSB (lower side band) нижняя боковая полоса и USB (upper side band) верхняя боковая полоса. На рис.1 отображен спектр DSB модулированного сигнала, где нижняя боковая полоса симметрична верхней боковой полосе относительно несущей частоты.

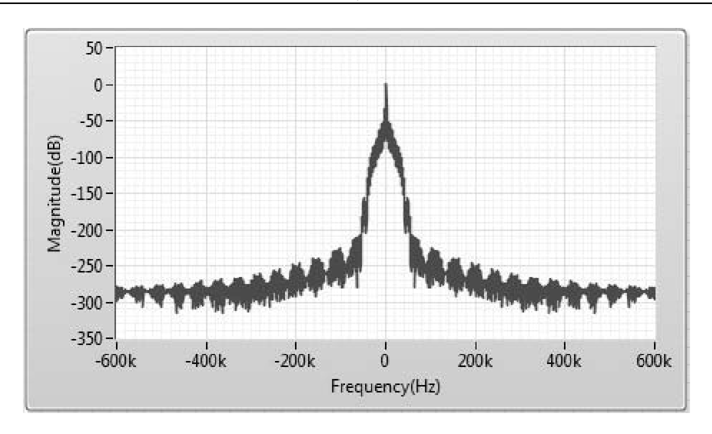


Рис. 1. Спектр DSB модулированного сигнала.

2. SSB модуляция. Это однополосная модуляция, которая имеет виды LSB и USB. Как видно из рис.1, у несущей сигнала есть нижняя и верхняя боковые полосы, которые содержат одинаковую информацию и, следовательно, для передачи небходимой информации достаточно одной боковой полосы. Для подавления одной из полос прибегают к помощи Гильберт преобразования. При SSB модуляции сигнал описывается следующим образом [4]:

$$s(t) = x(t)cos(\omega_0 t) \pm x_m(t)sin(\omega_0 t) \quad (4),$$

где $x(t)$ – информационный сигнал, а $x_m(t)$ – ортогональное дополнение $x(t)$, рассчитанное через преобразование Гильберта. Представим, что $x(t)$ представляет из себя сумму *N*-го количества гармоник, тогда для этого сигнала имеем:

$$x(t) = \sum_{k=1}^{N} c_k\, cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (5),$$

где x_k, f_k и $\varphi_{k,}$ соответственно, амплитуда, частота и фаза *k*–ой гармоники.

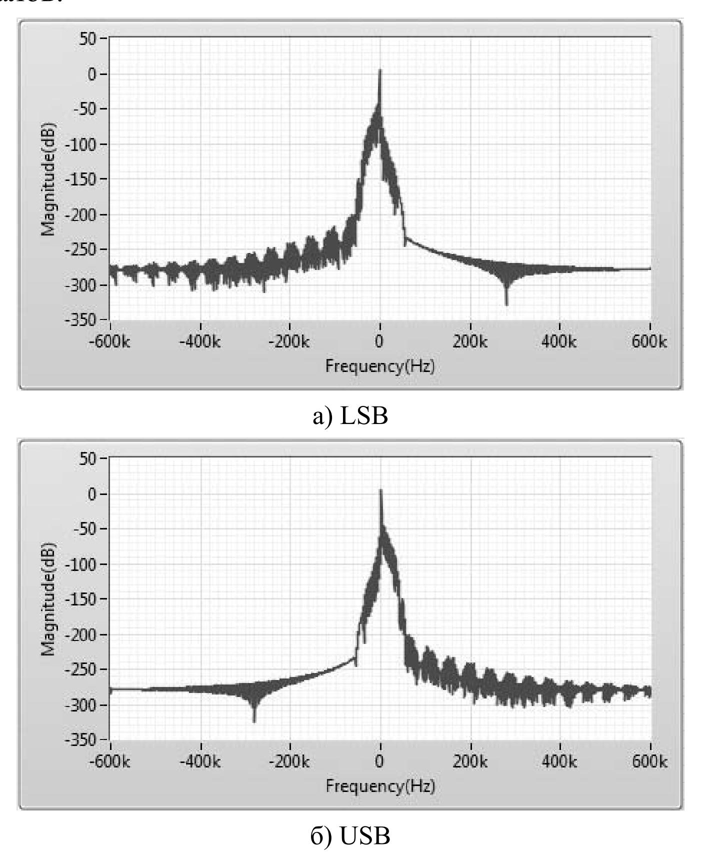
Ортогональное дополнение этого сигнала будет выглядеть как:

$$x_m(t) = \sum_{k=1}^{N} c_k\; sin(\omega_k t + \varphi_k) \quad (6).$$

Итак, подставив уравнения (5) и (6) в (4) для SSB модуляции, получим $s(t)$ сигнал в следующем представлении:

$$s(t) = \sum_{k=1}^{N} c_k \; cos\big((\omega_0 \, \pm \, \omega_k)t + \, \varphi_k\big) \qquad (7).$$

На рис. 2 изображены спектры LSB (а) и USB (б) модулированных сигналов.



а) LSB

б) USB

Рис. 2. Спектры LSB (а) и USB (б) модулированных сигналов.

3. FM модуляция. В случае модуляции сигналов с постоянной амплитудой, т.е. в случае частотной и фазовой модуляции, колебание можно представить в следующей форме [3]:

$$s(t) = A(t)_c cos\left(\theta(t)\right) \quad (8),$$

где $\theta(t)$ – мгновенная фаза и при изменяющейся частоте определяется как:

$$\theta(t) = \int [\omega_0 + \Delta\omega x(t)]dt = \omega_0 t + \Delta\omega \int x(t)dt \quad (9).$$

Следовательно, частотно-модулированный сигнал можно представить как:

$$s(t) = A(t)_c \, cos\left(\omega_0 \, t \, + \, \beta \, sin(\Omega t)\right) \quad (10).$$

Здесь, β – это индекс частотной модуляции, который показывает насколько несущая частота сдвинута по отношению к центральной частоты и описывается как:

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\Omega} \quad (11),$$

где величина $\Delta\omega$ – это девиация частоты, равная разности мгновенной частоты модулированного сигнала и центральной несущей частоты, аΩ – частота информационного сигнала. На рис. 3 представлен спектр частотно-модулированного сигнала.

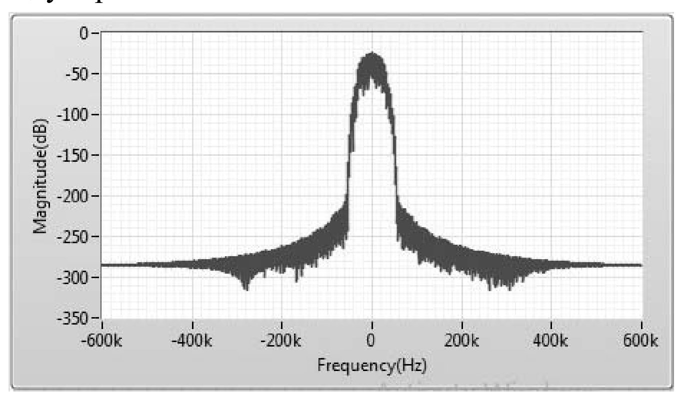


Рис. 3. Спектр FM модулированого сигнала.

4. γ_{max}–спектральная плотность мощности. Все вышеперечисленные модуляции были моделированы в графической среде программирования Lab VIEW, с помощью виртуальных инструментов “NI

Modulation Toolkit” [5]. Мгновенные амплитуда и фаза всех сигналов были получены с помощью виртуального инстрмента “Complex to Polar” [6], который изображен на рис. 4.

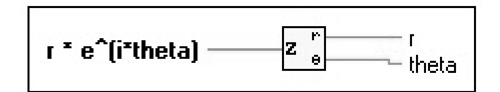


Рис. 4. Виртуальный инструмент “Complex to Polar”.

Этот инструмент считает мгновенную амплитуду и фазу, соответственно, по формулам

$$A(t) = |Z(t)| = |a(t) + jb(t)| = \sqrt{a(t)^2 + b(t)^2} \quad (12)$$

и

$$\mathrm{theta} = \arg(\mathrm{Z(t)}) = \mathrm{arctan2(b(t), a(t))} \quad (13).$$

В (1) и (2) $Z(t)$ – аналитическое представление $s(t)$ сигнала, а $a(t)$ и $jb(t)$, соответственно, реальная и мнимая части сигнала. Поскольку частота несущей считается известной, то для упрощения расчет ключевых характеристик был произведен по данным низкочастотного сигнала. γ_{max} определяется по следующей формуле:

$$\gamma_{max} = \frac{\max FFT\ |A(i)_{cn}|^2}{N_s} \quad (14).$$

Здесь $A(i)_{cn}$ – это центрированная и нормированная амплитуда сигнала, которая описывается как:

$$A(i)_{cn} = \frac{A(t)_i - A_m}{A_m} \quad (15),$$

где $A(t)_i$ – это i –й элемент массива мгновенных амплитуд, а A_m – усредненное значение мгновенных амплитуд и выражается следующим уравнением:

$$A_m = \frac{1}{N_s}\sum_{i=1}^{N_s} A(t)_i \quad (16),$$

где N_s – количество точек взятого сегмента сигнала. Как видно из формулы (14), для расчета γ_{max} находим максимальное значение спектра мощности и делим на общее количество точек.

Итак, получаем, что γ_{max} – это максимальная спектральная плотность мощности. Это ключевая характеристика применяется для автоматического распознавании FM аналоговой модуляции и DSB, SSB как другую группу. Поскольку амплитуда FM модулированных сигналов – постоянная величина, то следует, что такие сигналы не имеют амплитудную информацию и их центрированная и нормированная амплитуда равна нулю. Следовательно, значение γ_{max} для частотно-модулированных сигналов всегда стремится к нулю, а для DSB, SSB модуляций имеет значение больше нуля. На рис. 5 изображена часть кода, выполняющая расчет γ_{max}- а.

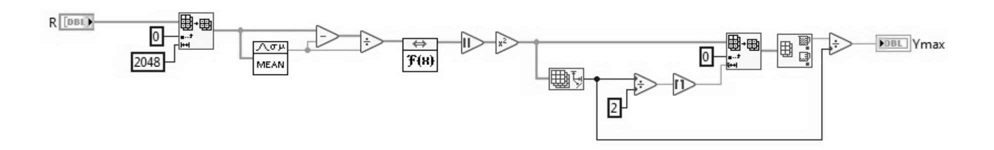


Рис. 5. Расчет γ_{max} – а в Lab VIEW.

5. σ_{ap} – стандартная девиация абсолютного значения центрированной нелинейной компоненты мгновенной фазы. Эта ключевая характеристика определяется по следующей формуле:

$$\sigma_{ap} = \sqrt{\frac{1}{C}\left(\sum_{A(i)_n > A_t} \Phi(i)_{NL}^2\right) - \left(\frac{1}{C}\sum_{A(i)_n > A_t} |\Phi(i)_{NL}|\right)^2} \qquad (17),$$

где $\Phi(i)_{NL}$ – центрированная нелинейная компонента мгновенной фазы, C – количество точек для которых $A(i)_n > A_t$, где $A(i)_n$– нормиро-

ванная мгновенная амплитуда,а A_t – это пороговое значение амплитуды, ниже которой расчет не целесообразен из-за уровня шумов. В уравнении (17) $A(i)_n$ выражается следующим уравнением:

$$A(i)_n = \frac{A(t)_i}{A_m} \quad (18),$$

Данная ключевая характеристика применяется для распознавания аналоговых модуляций, имеющих абсолютную фазовую информацию и тех, которые не имеют. Рассмотрим мгновенные значения фазы для DSB модуляции. Представим сигнал $s(t)$ в аналитическом виде как:

$$z(t) = x(t)e^{j2\pi f_c t} \quad (19).$$

Из уравнения (19) следует, что мгновенная фаза при DSB модуляции примет два значения:

$$\phi(t) = \begin{cases} 2\pi f_c t, & x(t) > 0 \\ 2\pi f_c t + \pi, & x(t) < 0 \end{cases} \quad (20).$$

Поскольку главным внедрителем линейной компоненты фазы является несущая, то после удаления линейной компоненты $2\pi f_c t$ получаем, что фаза получает значения 0 и π. Для центрирования фазы небходимо от обеих значений отнять $\frac{\pi}{2}$, из чего следует, что после удаления линейной компоненты и центрированияполучаем, что значение абсолютной фазы - это постоянная величина и равна $|\frac{\pi}{2}|$. Это означает, что, в отличие от остальных типов, DSB модулировнный сигнал не имеет абсолютной фазовой информации. Следовательно этот вывод позволяет применить данную ключевую характеритику для различения DSB модуляции и других видов модуляций.

Итак, поскольку расчет был проведен по данным низкочастотного сигнала, считается, что нелинейная компонента фаза и есть фаза низкочастотного сигнала. На рис. 6 изображена часть кода, выполняющая расчет σ_{ap}.

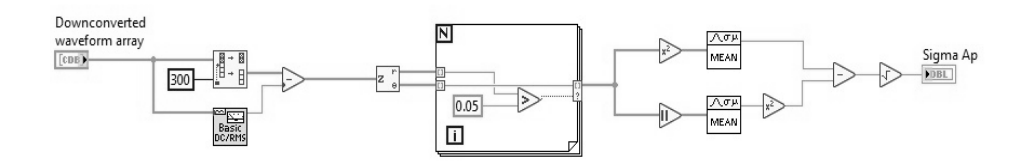


Рис.6. Расчет $\sigma_{аф}$ в LabVIEW.

6. P – спектральная симметричность. Ключевая характеристика сигнала P описывает симметричность спектра в смысле левой и правой боковых полос несущей. Она применяется для отличения SSB (LSB, USB) модуляции и DSB, FM модуляций, поскольку, как уже отмечалось, при SSB модуляции левая или правая боковая полоса фильтруется, что нарушает симметричность спектра. В то же время спектр DSB и FM модулированных сигналов симметричен. Симметричность спектра определяется следующим уравнением:

$$P = \frac{P_l - P_u}{P_l + P_u} \qquad (21).$$

В уравнении (21)P_lиP_u, соответственно, спектральная мощность нижней и верхней боковых полос и определяются соответственно как:

$$P_l = \sum_{i=1}^{f_{cn}} |X_c(i)|^2 \qquad (22),$$

$$P_u = \sum_{i=1}^{f_{cn}} |X_c(i + f_{cn} + 1)|^2 \qquad (23).$$

Здесь X_c – Фурье преобразование сигнала, а $f_{cn} + 1$ – это номер точки соответстующей несущей. f_{cn} определяется как:

$$f_{cn} = \frac{f_c N_s}{f_s} - 1 \qquad (24).$$

Итак, для расчета P_lиP_u берется f_{cn} количество точек и значение мощности несущей из расчетов исключается. Как видно из уравнения (21)

при отсутствии шума для DSBи FM модуляций $P = 0$, а для SSB модуляции $|P|$ =1 (для LSB$P = 1$, а для USB$P = -1$). Рис. 7 отображает код в Lab VIEW, который считает значение P.

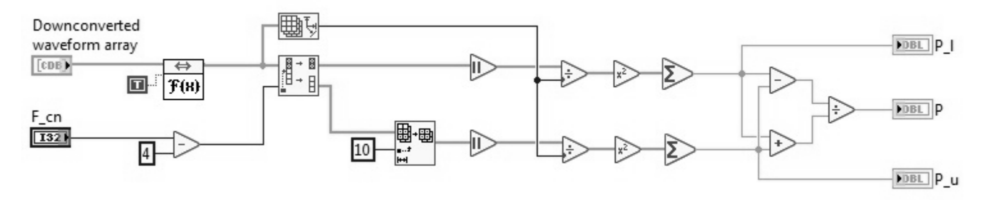


Рис. 7. Расчет P в Lab VIEW.

Заключение

Для решения одной из важнейших задач систем связи – автоматического распознавания модуляций, необходимо определить и извлечь из принятого сигнала ключевые характеристики, которые описывают индивидуальные параметры сигнала. В данной работе в качестве ключевых характеристик были взяты характеристики, разработанные Аззоузом и Нанди [1]. Данные характеристики применились для автоматического распознавания аналоговых модуляций.

Целью данной работы является подробное описание извлечения и расчета ключевых характеристик в графической среде программирования Lab VIEW. После разработки алгоритма для извлечения и расчетов ключевых характеристик были проведены тестировки программного кода при разных параметрах сигнала, таких, как: частота несущей, количество взятых точек, индекс модуляции, частотная девиация и отношение сигнал-шум (SNR-Signal-to-noise). Результаты тестов доказали точность разработанного програмного кода, поскольку полученные значения ключевых характеристик лежали в диапазное значений соответствующих данной модуляции.

Далее рассчитанные значения ключевых характеристик были поданы на входы искусственной нейронной сети [2], примененной в ка-

честве классификатора для распознавания вида модуляций. Для проверки точности классификации для каждого типа модуляции были реализованы 100 симуляций. Результаты тестов распознавания вида модуляции с помощью искусственой нейронной сети при разных значениях SNR, отображены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты распознавания видов модуляций

SNR	DSB	LSB	USB	FM
Inf.	100%	100%	100%	100%
20dB	100%	100%	100%	100%
15dB	100%	100%	99%	100%
10dB	96%	100%	92%	100%
5dB	82%	100%	82%	100%

ЛИТЕРАТУРА

1. *Azzouz E., Nandi A.* Automatic Modulation Recognition of Communication Signals. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (1996), 214 p.
2. *Гулян А.Г., Севоян О.Ж., Тантушян А.М.* Автоматическое распознавание четырех видов симулированных сигналов с помощью искусственной нейронной сети. Известия. Т. 4. СС. 467–471. (2017).
3. *Харкевич А.А.* Основы радиотехники, Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио. М. (1962).
4. http://www.dsplib.ru/content/ssb/ssb.html
5. http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/210568
6. http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361P-01/glang/complex_to_polar/

SIGNAL'S KEY FEATURES EXTRACTION AND CALCULATION FOR ANALOG MODULATION CLASSIFICATION

A.Tantushyan

ABSTRACT

Automatic modulation recognition is one of the most important tasks for telecommunication systems. For modulation type recognition, without any prior information about signal, it is necessary to extract key features during the phase of signal preprocessing. The key features for analog modulation recognition are described in this paper. Their calculations in the LabVIEW graphical programming environment are presented.

Keywords: automatic modulation recognition, key features of signal, analog modulations.

ԱԶԴԱՆՇԱՆԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԱՌԱՆՁՆԱՑՈՒՄՆ ՈՒ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ԱՆԱԼՈԳԱՅԻՆ ՄՈԴՈՒԼՅԱՑԻԱՆԵՐԻ ԴԱՍԱԿԱՐԳՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ա.Մ. Թանթուշյան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Մոդուլյացումների ավտոմատացված ճանաչումը հեռահորդակցության համակարգերի ամենակարևորագույն խնդիրներից մեկն է: Մոդուլյացումների ավտոմատացված ճանաչման համար՝ առանց որևէ սկզբնական ինֆորմացիայի ազդանշանի մասին, հարկավոր է ազդանշանի նախամշակման փուլում առանձնացնել հիմնական բնութագրերը: Այս աշխատանքի մեջ նկարագրված են անալոգային մոդուլյացումների ավտոմատացված ճանաչման դեպքում կիրառվող հիմնական բնութագրերը: Ներկայացված է դրանց հաշվարկը LabVIEW գրաֆիկական ծրագրավորման միջավայրում:

Հիմնաբառեր՝ մոդուլյացումների ավտոմատացված ճանաչում, ազդանշանի հիմնական բնութագրեր, անալոգային մոդուլյացումներ:

БИОЛОГИЯ

UDC.599.323.41.591.111

THE ECOLGY OF URAL FIELD MICE *APODEMUS URALENSIS* PALLAS, 1811 PREVAILING IN ARTSAKH FAUNA AND THEIR BIOOD INDEXES DEPENDING ON THE VERTICAL ZONING

V. Hayrapetyan

Ministry of Nature Protection and Natural Resource RA,
«“Green Artsakh” Biosfere omplex»

Vahram76@amil.ru

ABSTRACT

In this work, the issues concerning the prevalence, ecology and biology of Ural field mice are discussed. Not only their types of activities are clarified, but also the dynamics of the number and the reasons for the change in number. Special attention is paid to the changes of the blood index of these beasts depending on the season and vertical zoning.

Keywords: Artsakh, Ural field mouse, ecology, blood.

Introduction: As everywhere in the Artsakh Republic also the order Rodentia takes the 1st place with its variety of types, the area of prevalence, flexibility of ecology and number.

Ural field mice are also the components of nourishment for predators which are hunted. They are also the bearers and transmitters of some pathogens which can cause diseases of people and animals, and the main pests for crops in agriculture. This way the clarification of the issues concerning the ecology, biology and blood indexes of Ural field mice *Apodemus uralensis Pallas, 1811* is of great importance.

Material and methods: The main material for this work are our surveys and accumulated material from 1999 to 2017. The material was collected from the plains, as well as foothills and medium mountainous regions of Artsakh. To study the ecological peculiarities we used the classical methods accepted in biology [3, 5, 6, 7, 10].To study the blood indexes we used the methods accepted in physiology [8]. The hunting was carried out by bow-shaped and live traps, as baits pieces of bread dunked in oil, sausages and other things were used. The height of the dwellings of these beasts was measured with Magellan GPS-315.

The summary of results: In our conditions, Ural field mice are common everywhere, and in some places even prevalent. Their dwellings are now situated in various places – in different forests, bushes, cultivated lands near forests and people’s houses. Nevertheless, they are very few in subalpine zones and are found only in the forests near subalpine zone, bushes, meadows near it, river valleys. Their dwellings are created in hiding places of any type, sometimes they dig their nests. For reproduction purposes, they carefully “furnish” their nests, which can be two-ply or spherical.

Though these beasts have a wide area of prevalence and are densely populated, a sharp fluctuation is recorded in their number in different years.

The reasons for changes in the number of Ural field mice are various. Among them are the weather conditions especially in foothill and medium mountainous zones. According to our observations in the aforementioned zones, a sharp decline in the number of these beasts is recorded in snowless winter or in one with a thin layer of snow. The main factor which has a negative impact on the number of Ural field mice in plain zones is the anthropogenic factor, as they are more densely populated in the agricultural landscape, especially in grain crops.

The biggest amount recorded in plain zones was in 2000 – 27 species in 100 trap/day, in 2013 – 24 species (image 1). The biggest amount in mountainous zones was recorded in 2007 – 25 species in 100 trap/day, in 2015 -22 (image 2).

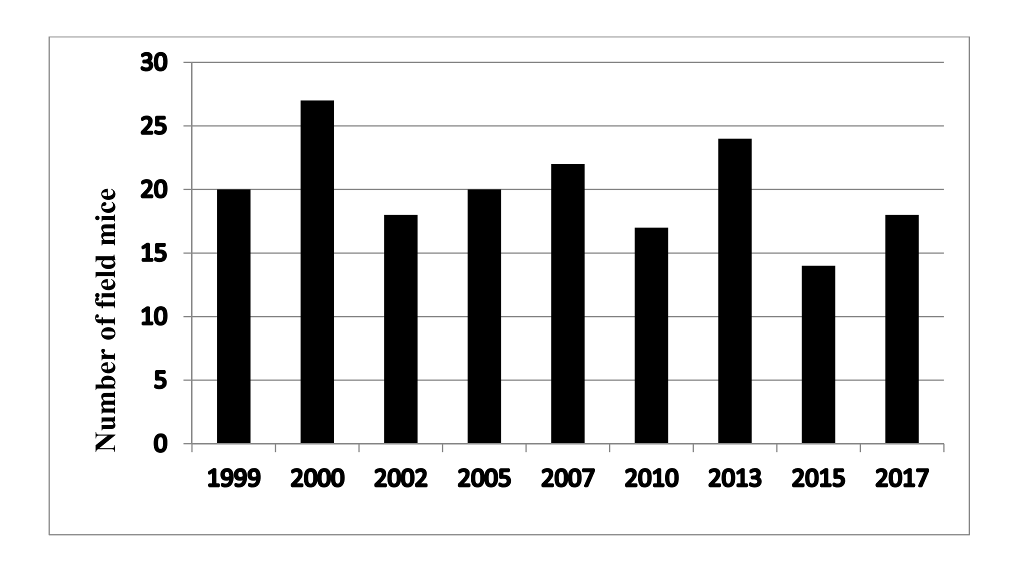


Image 1. Changes in the number of Ural field mice in the plains zone by years.

These beasts are active during twilight or night. They do not hibernate in winter, are active in different seasons. We have found the approximate time for the activity of these beasts from their frequency of getting into the traps during the day. In spring their activity in plain zones during twilight

lasts from 20:00 to 23:00. At midnight their activity is slowed down and rare species are trapped, a big amount of which being males, barren females and young ones. The second rise of activity lasts mainly from 03:00 to 08:00. In the daytime activity also slows down. Their activity in the forest, foothills and mountainous areas is recorded immediately after the sunset and before the sunrise. They do not have a clearly emphasised activity in spring and summer. Their activity slows down in the morning and at night and instead, they become more active during the day. In rainy weather, they also move slowly but keep their mobility in the hiding places [2, 9].

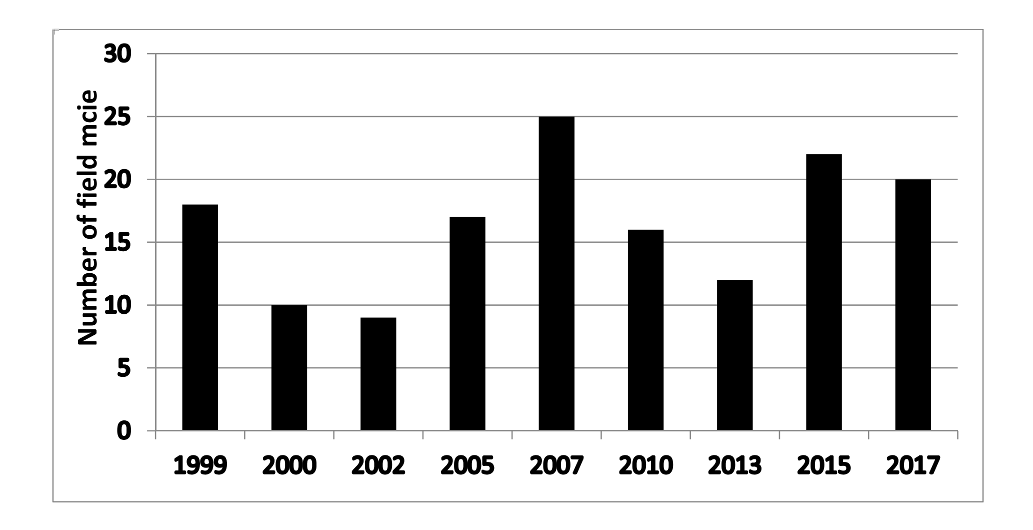


Image 2. Changes in the number of Ural field mice in the mountainous zone by years.

In our conditions, especially in plain zones, they breed from 4 to 5 times, in middel and high mountainous zones from 2 to 3 times. The pregnancy lasts 28-29 days and they have 6-8 cubs. They become mature in 85-95 days [1,4,5]. During the observations, we have found one not emphasised case of moulting in spring, moulting in autumn is not excluded as well.

The evaluation of the blood system can be described as the reaction of the organism to the changing conditions of the environment.

The indexes of Ural field mice blood were studied in plain as well as in mountainous zones during different seasons.

The indexes of Ural field mice *(♂ and ♀)* blood in plain zones (500 m a.s.l.) are presented in the table 1.

Table 1

The studied blood indexes of Ural field mice in the plain zones

Studied feature	Sex	Winter	Spring	Summer	Autumn
Hemoglobin g/l	♂	168	160	150	155
	♀	159	156	141	143
Erythrocytes (million)	♂	9,5	8,7	7,9	6,8
	♀	9,1	8,5	7,3	6,2
leucocytes (thousand)	♂	5,2	5,8	5,5	5,2
	♀	5,1	5,7	6,1	5,4
Segmented neutrophil %	♂	41,7	47,8	46,3	43,6
	♀	44,3	49,3	45,7	40,6
Eosinophil %	♂	1	1,02	1	1
	♀	1,1	1	1	1
Monocyte %	♂	4,21	4,87	4,45	3,87
	♀	3,95	4,65	4,91	4,12
Lymphocyte %	♂	47,75	46,32	48.47	51,42
	♀	47,24	41,82	47,87	50,42

As it can be seen from Table 1, the concentration of hemoglobin on the lowest level in males and females is recorded in the summer, relatively high in spring and fall, and the highest in winter. The red blood cell count of both males and females is also high in winter. The amount of eosinophil is unchanged in any season. The amount of leukocytes of females is the highest in summer.

In the foothills and middle mountainous zones high indexes of hemoglobin and red blood cells are also recorded for both males and females in spring and winter. We consider this the result of their being more active and the energy consumption. In summer the low amount of the forementiond indexes is due to the high temeperature as a result of which they are less active during the day.

Table 2

The studied blood indexes of Ural field mice in the mountainous zones

Studied feature	Sex	Winter	Spring	Summer	Autumn
Hemoglobin g/l	♂	175	166	157	160
	♀	173	160	152	155
Erythrocytes (million)	♂	11,2	10.3	9.8	8,8
	♀	10,7	10,1	9,6	8,6
leucocytes (thousand)	♂	5,5	6,3	5,7	5,4
	♀	5,9	6,5	5,8	5,2
Segmented neutrophil %	♂	44,5	51,8	49,3	48,6
	♀	48,3	53,3	47,7	46,9
Eosinophil %	♂	1,6	2,1	2	1
	♀	2	1,8	1,5	1,3
Monocyte %	♂	5,23	5,83	4,87	4,52
	♀	4,75	5,75	5,43	4,78
Lymphocyte %	♂	53,12	61,22	58.47	52,42
	♀	50,24	57,72	52,87	49,62

In contrast to the Ural field mice of the plain zones, in the Ural field mice of the mountainous zones have a higher level of eosinophil. The number of lymphocytes and monocytes is relatively high.

The diet of Ural field mice is pretty various. It depends on the season. In spring their diet mainly includes green sprouts, grains under the leaves, fruit, barks of branches, insects, and their caterpillars and worms.

Ural field mice are among the major pests of agriculture and forestry.

REFERENCES

1. *Bakhshiyan B., Hayrapetyan V., Harutyunyan M., Yavruyan E.* The most prevalent pests of Artsakh and the ways of pest control// Education and Science in Artsakh, 5–6, 2004. PP. 210–212.
2. *Hayrapetyan V.* The biology of the prevalent rodents (Rodentia) in NKR// ASU, scientific record 1 (10) 2005. PP. 89–90.
3. *Hayrapetyan V.* Some methods (methodical instructions) of the field observations of the ecology of rodents.
4. *Hayrapetyan V.* The mammal fauna of NK // doctoral dissertation, Yerevan, 2014. PP. 137–138.
5. *Yavruyan E., Hayrapetyan V.* The wild mammals of Karabakh // (Insectivora, chiroptera, rodents, lagomorpha), Stepanakert, 2003. PP. 1–124.
6. *Karaseva E., Telicyna A.* The Methods of studing rodents in the wild nature: accounts of their number and labeling. M.: science, 1998. P. 227.
7. *Novikov G.* The field observations, the ecology of terrestrial vertebrates // Soviet science, *Moscow, 1953. P. 503.*
8. *Smirnov P., Efanova N., Osina L., Batalova S.* The physiology of blood and the cardiovascular system: guidance and training materials / Novosibirsk State Agrarian University, 2015. P. 60.
9. *Yavuryan E., Hayrapetyan V., Blasanyan V., Mnoyan I.* Observations of the ecology and behaviour in the population of field mice – Apodemus sylvaticus L. of Artsakh and Armenia (short message) // ASU, scientific readings (collection of articles), Stepanakert, 2011. PP. 280–281.

10. *Grigoryan M., Avagyan A., Hayrapetyan V.* The ecology and prevalence of Caucasian moles (Talpa caucasica Satunin, 1908) in the Republic of Artsakh (Nagorno Karabakh) // Scientific journal of Pavlodar state pedagogical university «Biological sciences of Kazakhstan», Kazakhstan, N 3–4, 2016. PP. 15–20.

ЭКОЛОГИЯ И ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ЛЕСНЫХ МЫШЕЙ *APODEMUS URALENSIS* PALLAS, 1811 , РАСПРОСТРАНЕННЫХ В ФАУНЕ АРЦАХА, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ АННОТАЦИЯ

В.Т. Айрапетян

В данной научной статье обобщаются вопросы, касающиеся распространенности, экологии, биологии лесных мышей. Выясняются типы активности, а также причины изменения их динамики численности. Особое внимание выделяется изменению показателей крови в зависимости от вертикальной зональности и времени года.

Ключевые слова: Арцах, лесной мышь, экология, кровь.

ԱՐՑԱԽԻ ՖԱՈՒՆԱՅՈՒՄ ՏԱՐԱԾՎԱԾ ԱՆՏԱՌԱՅԻՆ ՄԿՆԵՐԻ *APODEMUS URALENSIS* PALLAS, 1811 ԷԿՈԼՈԳԻԱՆ ԵՎ ԱՐՅԱՆ ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԸ ԿԱԽՎԱԾ ՈՒՂՂԱՀԱՅԱՑ ԳՈՏԻԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆԻՑ

Վ.Տ. Հայրապետյան

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքում քննարկվում է անտառային մկների տարածվածության, էկոլոգիայի, կենսաբանության նվիրված հարվեր: Պարզաբանվում է

դրանց ակտիվության տիպերը, ինչպես նաև թվաքանկի դինամիկան և փոփոխության պատճառները: Առանձնահատուկ ուշադրություն է դարձվում այս գազանիկների արյան ցուցանիշների սեզոնային և ուղղահայաց գոտիականությամբ փոփոխություններին:

Հիմնաբառեր՝ Արցախ, անտառային մուկ, էկոլոգիա, արյուն: